25e ANNÉE Nº 221
AOUT 1945
PRIX : 45 FRANCS

L'ONDE ÉLECTRIQUE

BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS
ETIENNE CHIRON, ÉDITEUR, 40, RUE DE SEINE, PARIS-6e

LIRE DANS CE NUMERO

Le rôle de la recherche dans le domaine de la radioélectricité, par M. Delorraine.

Le tableau électro-cinétique, par P. Toulon.

La mesure des caractéristiques de modulation d'un générateur HF, par E. Fromy.

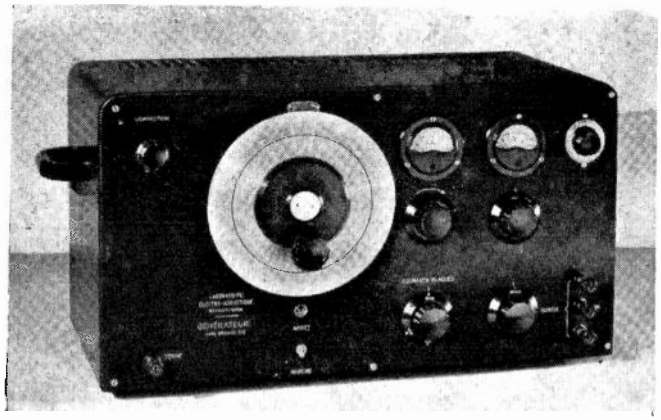
Relations entre les oscillations libres et forcées d'un solide conducteur et applications à la théorie de l'antenne fictive par P. Nicolas.

MICROVOLTMÈTRE A LAMPES

50 MICROVOLTS
500 MILLIVOLTS

A.M.E.
ATELIERS DE MONTAGES ELECTRIQUES

54 RUE DU THÉATRE PARIS XV^e^
SUF.72-74



GÉNÉRATEUR

TYPE GBM6
(25 à 15.000 c/s)

TYPE GMM4
(25 à 100.000 c/s)

Boulder Laboratories
National Bureau of Standards
Boulder, Colorado

EXTRAIT DU CATALOGUE :
GÉNÉRATEURS — VOLTMÈTRE ÉLECTRONIQUE
PONT UNIVERSEL — MICROPHONE ÉTALON
DISTORSIOMÈTRE — SONOMÈTRE — AUDIOMÈTRE

L.E.A.
LABORATOIRE ÉLECTRO-ACOUSTIQUE
SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 500.000 FRS
5, Rue CASIMIR-PINEL, NEUILLY-S-SEINE Tél. MAI 55-06 55-01

PHILIPS

QUALITÉ

S.A. PHILIPS - ECLAIRAGE & RADIO
50, AVENUE MONTAIGNE - PARIS

SADIR

101, BOULEVARD MURAT, PARIS-16e — AUT 81-25

45

MATÉRIEL
PROFESSIONNEL
RADIOÉLECTRIQUE

ÉDITORIAL

Ce numéro de L'Onde Electrique *porte la date d'août 1945. Le numéro précédent portait celle de mars-avril 1940.*

Entre ces deux dates, il y a eu l'occupation ennemie et les délais qui ont été nécessaires au Ministère de l'Information pour qu'il donne à notre Société l'autorisation de faire paraître sa revue.

Notre demande d'autorisation avait été appuyée par le Comité de Coordination des Télécommunications Impériales, par le Centre National de la Recherche Scientifique, par le Ministère de la Production Industrielle et par le Ministère de la Guerre. Nous remercions ces Organismes ou Départements ministériels de l'aide qu'ils ont bien voulu nous apporter.

Nous remercions également les Ministères des P. T. T., de l'Air, de la Guerre et de la Marine de leur concours financier, sans lequel la parution de L'Onde Electrique *aurait posé des problèmes difficiles.*

Les « Anciens » de la Société des Radioélectriciens ne reconnaîtront pas, au premier coup d'œil, leur revue d'avant-guerre, puisque aussi bien présentation et format ont été modifiés. Mais la lecture de ce premier numéro et des numéros suivants leur montrera que c'est bien L'Onde Electrique *qui continue.*

Il s'agit, en effet, avant tout, de reprendre des traditions solidement établies et de faire que L'Onde Electrique, *organe de liaison entre les membres de la Société des Radioélectriciens, reste la Revue technique française de niveau élevé s'occupant de Radioélectricité.*

Une difficulté cependant au départ. Comment, après une interruption de cinq années, rattraper une technique envahissante qui conquiert toujours de nouveaux domaines et qui s'est trouvée stimulée encore par les besoins nés de la guerre ? Comment, dans une publication de volume exactement limité, faire tenir les éléments d'une technique qui, dans son foisonnement, repousse sans cesse ses limites ?

Le Comité de rédaction de L'Onde Electrique *trouvera la solution au problème ainsi posé en présentant à côté d'articles traitant de questions particulières et donnant l'état le plus actuel de la technique, des articles d'information qui, dans des exposés systématiques portant sur des sujets plus vastes pris dans leur ensemble, contribueront à supprimer les lacunes d'une documentation qui, dans le récent passé, a pu être défaillante.*

Quoi qu'il en soit, au moment où L'Onde Electrique *prend un nouvel essor, il faut rappeler que celui-ci est facilité, tout comme l'a été la renaissance rapide de notre Société, par ceux qui, pendant l'occupation, ont, par leurs efforts et leurs initiatives, évité que trop de liens ne se relâchent et veillé à ce que notre déjà vieille maison reste en ordre.*

Je dois, à titre personnel, remercier tout spécialement M. David qui a donné beaucoup de son efficace activité à notre Société et dont l'exemple et les conseils m'ont été précieux.

Le Secrétaire général,
R. Rigal,
Ingénieur en chef des P. T. T.

ALLOCUTION DE M. L. BOUTHILLON

Président de la Société des Radioélectriciens

Réunion du 25 Novembre 1944

MESDAMES, MESSIEURS,

« Le 25 juin 1940, a dit récemment M. le Ministre de l'Information, au cours d'une cérémonie d'hommage aux intellectuels victimes de la résistance, il se fit en France un silence que toute l'Europe entendit... L'Allemagne avait décidé que nos artistes et nos intellectuels — et nous ajoutons nos inventeurs et nos savants — ne se manifesteraient plus. Ils avaient encore un moyen de porter un témoignage français en acceptant le martyre. Ils l'ont fait. Par eux le monde continue de croire en la France. »

A ce silence de la pensée française, notre Société s'est associée. Elle a sa part dans ces sacrifices. Et, au jour où elle retrouve la liberté de s'exprimer à nouveau, les premiers mots de celui qui a l'honneur de parler en son nom ne peuvent être qu'un hommage à ceux qui ont témoigné pour elle en souffrant et en mourant.

Et tout d'abord à ceux qui sont tombés, face à l'ennemi, sur les champs de bataille. Mais, plus triste encore, notre pensée va également vers les victimes de l'occupation. Toutes ont droit à notre regret et à notre reconnaissance. Mais quand il s'agissait d'hommes de science, dont la vie s'écoulait, dirigée par un idéal plus haut que la vie même, dont la mort pouvait représenter des pertes irréparables, il nous semble qu'ils devaient forcer le respect de l'ennemi le moins accessible à la valeur de l'esprit.

Trois de nos collègues ont été ainsi frappés : M. Fernand Holweck, M. Hanff, M. Georges Perroux.

M. Fernand Holweck, chef de travaux à l'Institut du Radium, ancien vice-président de notre Société, a été sauvagement assassiné par la Gestapo en 1941. Et il se trouvait, pour répéter ici l'hommage que lui rendait il y a quelques jours le président de la Société Française de Physique, que c'était un physicien de génie.

M. Hanff, ingénieur en chef des Postes et Télégraphes, chef du service de vérification du matériel radio, a été fusillé en 1944.

M. Georges Perroux a été fusillé par les Allemands, dans des circonstances qui ne sont pas entièrement connues, quelques jours avant la libération du territoire. C'était un vieux de la T. S. F. Expérimentateur remarquable, il s'était illustré parmi la glorieuse phalange des amateurs qui, vers 1920, révélèrent les ondes courtes, par de belles réussites dans la réception des émissions américaines ; il avait ensuite rallié l'industrie électrique. Ingénieur à la Société Française Radio-Electrique, puis aux Laboratoires L. M. T., il avait apporté son concours à l'étude de nombreuses questions de radioélectricité : postes récepteurs de radiodiffusion ; liaisons avec les gros transatlantiques ; guidage et atterrissage des avions. Nous nous rappelons l'importante communication qu'il a présentée à notre Société sur l'atterrissage sans visibilité. Capitaine du génie de réserve, il avait fait la guerre de 1939-1940 d'abord au service de transmissions d'une armée, puis au service d'études des transmissions.

Ceux-là sont morts, et leur sacrifice restera pour nous un exemple et une leçon. Nous n'oublions pas davantage ceux d'entre nous qui souffrent encore aux mains de l'ennemi, les prisonniers, les déportés du travail, ceux qui, arrêtés, sont actuellement en Allemagne et notamment :

M. Henri Abraham, professeur à la Sorbonne, que vous aviez élu président de notre Société pour 1940 ;

M. Eugène Bloch, professeur à la Sorbonne ;

M. le Commandant Labat, du service d'Etudes des Transmissions de l'Armée.

Nous sommes sans nouvelles d'eux. Mais ceux qui en sont revenus nous ont dit l'horreur des jours et des nuits qui s'écoulent dans la solitude, sans terme connu, où, à chaque moment, le

détenu se demande si l'instant qui vient sera celui de la délivrance ou celui du poteau d'exécution. Où que soient nos amis malheureux, notre pensée ne les quitte pas.

Nous saluons ceux qui, ayant souffert, sont de nouveau parmi nous, et entre eux, M. Langevin, l'illustre physicien, qui a été pendant plusieurs années éloigné de sa maison et de son laboratoire et frappé dans ses plus chères affections.

Enfin, si nous ne pouvons accuser ici que le destin qui frappe au hasard, sans prendre souci de nos regrets ou de la dureté des coups qu'il nous assène, sans égard pour le mérite ou le talent, notre souvenir ému ira à tous les membres de notre Société décédés depuis notre dernière réunion mensuelle et notamment à nos anciens présidents, MM. Joseph Bethenod et Jean-Baptiste Pomey. Le temps me manque aujourd'hui pour évoquer devant vous, avec les développements qu'elle mérite, l'œuvre si vivante et si diverse, de ces deux grandes intelligences. Elle reviendra à l'ordre du jour de nos prochaines réunions.

La vieille et fière terre de France, qui a bu le sang de ses fils, soldats ou martyrs, en a été fécondée. La semence a germé ; elle est devenue cette armée populaire, cette armée de volontaires qui, mêlés à leurs camarades d'Amérique et d'Angleterre ont, hier, libéré d'un sursaut la presque totalité du territoire, qui lui rendent aujourd'hui ses provinces d'Alsace et de Lorraine, les plus chères parce que les plus meurtries. A ceux à qui notre Société doit aujourd'hui sa renaissance, nous adressons l'expression de notre gratitude. En hommage à l'armée américaine nous avons voulu que l'honneur de rouvrir la série des communications en séance plénière revint à un de ses soldats, M. Deloraine, vice-président de notre Société. Et votre Conseil a décidé d'envoyer, à l'issue de cette séance, des messages de félicitations aux principales sociétés américaine, anglaise, belge de radioélectriciens.

Nous devons des remerciements à M. le Commandant Angot, qui a maintenu l'activité de notre Société en zone sud, à l'époque où elle pouvait encore être qualifiée de libre, en organisant des communications très goûtées des Lyonnais, et à notre ancien président, M. Picault, qui a bien voulu inviter à plusieurs reprises certains de nos membres aux séances de travail de la cinquième section de la Société française des Electriciens.

Et maintenant, Mesdames et Messieurs, nous allons reprendre notre travail. Après quatre ans de silence les sujets importants ne manqueront pas pour donner de l'intérêt à nos séances plénières. Ainsi d'ailleurs que nos statuts nous en font l'obligation, votre Conseil s'occupe de la reprise de la publication de l'*Onde Electrique* et nous devons faire en sorte que, mieux encore que dans le passé, elle rende témoignage, devant la France et l'étranger, à la vigueur et à l'éclat de la science et de la technique radioélectriques françaises. Nos Commissions, elles aussi, se préparent à reprendre leur travail.

Notre Société, née sous l'impulsion du général Ferrié, a eu pour premier noyau la belle équipe de savants et de techniciens qu'il avait rassemblés et animés pendant la guerre de 1914-1918 et qui, dans l'enthousiasme des grandes révélations — on découvrait alors la lampe à trois électrodes — avait travaillé pour la science et la patrie ; elle s'est grossie, en 1929, de la Société Française d'Etudes de télégraphie et de téléphonie sans fil, groupement d'ardents amateurs qui, dans l'enthousiasme, avaient réussi vers 1920 les premières communications transatlantiques sur ondes courtes et ainsi provoqué une révolution dans les communications radioélectriques, avant de se passionner pour les essais de radiodiffusion. De tous les progrès scientifiques du début du vingtième siècle, aucun, pas même l'automobile et l'aviation, n'a été plus populaire, n'a fait plus d'adeptes, n'a davantage passionné ses fidèles. Nous nous y connaissons, en ardeur au travail, pour le progrès de notre science. Nous entretiendrons en nous cette flamme, nous serons les émules de ceux qui, dans tous les domaines, reconstruisent notre France et la rétablissent dans sa grandeur. C'est sur ce mot que je termine.

« Nous sommes un grand peuple, a dit récemment le général de Gaulle, un grand peuple qui sait ce qu'il veut et qui se remet au travail. » Donc, chers Collègues, pour la grandeur de la France, au travail !

LE ROLE DE LA RECHERCHE DANS LE DOMAINE DE LA RADIOÉLECTRICITÉ [1]

PAR

M. DELORAINE

Président du Laboratoire Central des Télécommunications

SOMMAIRE

Après avoir participé aux travaux d'étude et de recherche dans le domaine de la radioélectricité en France pendant de nombreuses années et ensuite au même genre de travaux aux Etats-Unis pendant l'occupation allemande de la France, l'auteur exprime l'importance qu'il y a lieu d'attacher à la préparation d'un plan technique coordonné des systèmes de télécommunication, de radiodiffusion, de navigation aérienne et maritime, tant sur une base nationale qu'internationale.

L'importance du sujet n'échappera pas au lecteur puisqu'on se trouve, en France, sur le point de démarrer des travaux exceptionnellement importants de constructions dans ces domaines, afin de donner au pays un équipement correspondant aux besoins économiques des années à venir.

De toute évidence, il est nécessaire qu'un plan soit élaboré pour donner les services les plus appropriés à un prix de revient minimum, tant de premier établissement que de maintenance. Tout dispersement des forces, l'ignorance des techniques récentes possibles entraîneraient, en effet, un surcroît dans le prix de revient de l'équipement national dans ces domaines, couplé à une diminution de la qualité des services rendus.

L'auteur termine en proposant que la Société des Radioélectriciens prenne une part active à l'étude de la partie technique de la question.

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,
MESDAMES,
MESSIEURS.

Je dois vous dire d'abord à quel point j'ai été touché par l'invitation qui m'a été faite de faire la première communication à la Société des Radioélectriciens, après ces quatre années de suspension. M. Bouthillon a dit qu'en m'invitant à parler, il a voulu faire un geste envers l'armée américaine. Je suis sûr que c'est un geste qui sera très apprécié.

Toutefois, je devine votre curiosité, et je crois qu'il est utile que je vous fixe un peu mieux sur ma position.

Je suis un Français ordinaire, et je suis dans l'armée américaine dans une fonction qui n'a rien de secret, puisqu'elle est écrite sur ma manche, à savoir, en tant qu'observateur technique. C'est en cette qualité que j'ai joint les Forces américaines récemment.

Je désire aussi faire une rectification en ce qui concerne les invitations qui vous ont été envoyées. La référence portée est que je suis directeur des Laboratoires L.M.T. Je l'étais, mais aujourd'hui, c'est M. Rabuteau qui est directeur des Laboratoires L.M.T. Je serai chargé, dès que les circonstances le permettront, de la coordination des Laboratoires de New-York, de Londres et de Paris dans notre groupe.

Je crois, puisque nous sommes réunis, qu'il est désirable que nous regardions quelques instants en arrière et essayions de nous rendre compte de la position de la France dans le domaine de la radioélectricité.

La première constatation d'un nouvel arrivé comme je le suis est que le cadre technique de la France a résisté à l'occupation de l'ennemi, il s'est même enrichi dans certaines directions, l'un des résultats de la nécessité de travailler en cachette ayant été un retour de nombreux techniciens et chercheurs aux études théoriques fondamentales. Ces techniciens et chercheurs sont aujourd'hui mieux préparés au point de vue des connaissances théoriques qu'ils ne l'étaient en 1939.

Une seconde constatation est que la France a été très isolée au point de vue technique. C'est d'ailleurs une chose parfaitement naturelle et compréhensible. Cet isolement a été le résultat du fait que les Allemands, d'une part, n'ont rien voulu communiquer aux Français d'important, et que, d'autre part, les Alliés étaient inaccessibles.

La France s'est donc trouvée en vase clos pendant une période extraordinairement active dans les autres pays. Vous pouvez imaginer qu'après l'armistice français de juin 1940, l'importance de la technique dans la guerre a été enfin comprise et que sous l'influence combinée des nécessités d'ordre militaire et du sentiment que le temps pressait, l'Angleterre d'abord, les Etats-Unis ensuite, ont développé de très forts organismes d'études et de recherches. Dans le domaine qui vous intéresse, leur activité a pris une importance considérable.

Les années passées ont vu se développer cette activité, non seulement par le nombre de per-

(1) Conférence faite à la Société des Radioélectriciens, le 25 novembre 1944.

sonnes engagées dans les travaux de recherches ou de fabrication, mais encore par le nombre d'heures de travail. La plupart des organismes radioélectriques ont travaillé 50, 55 ou 60 heures par semaine régulièrement, avec un ou deux jours de congé par an en dehors des dimanches.

En plus de cette activité exceptionnelle, les groupes de travailleurs ont eu l'avantage d'être aidés dans leurs études et problèmes par des organismes bien informés, d'être mis au courant des résultats de travaux faits en dehors d'eux.

En particulier, lorsqu'un problème se posait ou était posé, si l'intéressé avait besoin de renseignements, ce qui est presque toujours le cas, ces renseignements étaient fournis par les services intéressés, militaires ou civils.

On a donc pris l'habitude, pendant ces années, d'éviter tout travail inutile. Si la solution existait, on allait la chercher sans tenir compte de l'origine de cette solution. Il n'était plus question de se tenir à l'écart de ceux que l'on appelait avant guerre un concurrent.

Il en est résulté évidemment un rendement global supérieur à ceux qu'on avait connus auparavant.

Il faut reconnaître que l'avance technique réalisée en quelques années, que vous n'avez peut-être pas appréciée dans le détail, mais que vous avez sentie dans l'ensemble à travers les événements mêmes, a été en partie le résultat de cette organisation exceptionnelle.

On pourrait croire, et quelques-uns croient, que les recherches de guerre n'auront pas une influence fondamentale sur la technique d'après-guerre. Je ne puis pas vous apporter de preuves, mais je vous assure que personnellement, mon opinion est dans le sens opposé. Si les problèmes de guerre sont souvent spéciaux, par exemple celui des explosifs ou de la guerre sous-marine, dans l'ensemble de la technique radioélectrique, ils ne diffèrent pas d'une façon fondamentale des problèmes du temps de paix. Il est certain que beaucoup de résultats acquis pendant la guerre seront applicables aux problèmes d'après-guerre.

C'est parce que ce fait est très bien compris aussi bien en Angleterre qu'aux Etats-Unis, que de nombreux Comités techniques, soit d'Etat, soit privés, soit mixtes groupant les experts dans un domaine donné, ont commencé à étudier l'effet des progrès techniques des dernières années sur les plans d'ensemble applicables après la guerre.

Je n'apporterai ici qu'un exemple : c'est qu'il y a déjà plusieurs mois, s'est créé aux Etats-Unis un organisme qui s'appelle le " Radio Technical Planning board ", " R.T.P.B. ", dont le but essentiel est, dans les limites permises par la Défense Nationale, de rechercher les conséquences, au point de vue du matériel d'après-guerre, des progrès et développements faits pendant la guerre dans le domaine de la radioélectricité.

Ce groupement est divisé en sections qui ont chacune la responsabilité d'étudier un domaine particulier, par exemple la section I étudie l'utilisation du spectre de fréquences.

Une telle section comprend en dehors de son président et vice-président, 25 membres environ choisis pour leur compétence technique. On y trouve aussi un certain nombre d'observateurs représentant les départements d'Etats et organisations existantes intéressées.

Les différentes sections, 14 en tout, couvrent l'ensemble de la technique radioélectrique. La plupart des sections sont d'ailleurs divisées en un certain nombre de sous-comités.

Les documents résultant des travaux des sections sont présentés par les présidents de sections et publiés sous leur responsabilité.

Il se fait un travail considérable aux Etats-Unis, dès maintenant, dans le but de chercher à définir et à mettre sur papier les normes principales qu'il faut envisager après guerre.

En vue de ce qui précède et par suite de l'isolement technique dont la France a été victime, il est très essentiel qu'en France on envisage dès maintenant sur un plan national un effort du même ordre. Le retard en France du développement industriel en 1939 auquel s'ajoutent les destructions qui couvrent le pays aujourd'hui, et le ralentissement des fabrications qui en résulte, amènent à prévoir une période industrielle très active dans les années qui viennent, afin de procurer au pays l'équipement nécessaire à assurer sa vie économique.

Il est important de profiter de la période de remise en route des productions de base comme le charbon, l'électricité, la nourriture, de la mise en état des moyens de production de l'industrie, des transports, pour dresser les plans d'ensemble nécessaires à la mise en harmonie des activités des différentes branches de l'industrie en général et de l'industrie radioélectrique en particulier.

Le plan d'ensemble, pour être élaboré, demande la réunion dans des organismes appropriés des compétences techniques des organisations gouvernementales et privées intéressées.

Le travail utile qu'un tel organisme peut faire dépend tout d'abord d'une appréciation adéquate de l'état présent de la technique. A cette fin, une activité appropriée, destinée à obtenir, classer et distribuer les informations techniques disponibles, tant en France que d'origine étrangère, jouerait un rôle fondamental. Il est nécessaire d'y ajouter des visites aux laboratoires, usines et installations existantes par des groupes largement diversifiés comprenant les techniciens des services d'état et ceux de l'industrie, ce qui demande à son tour, au moins pour l'étranger, que les services d'état donnent de grandes facilités de déplacement à tous les techniciens qualifiés.

Le deuxième stade, à savoir l'élaboration du programme, ne peut que résulter d'un échange de vues des organisations ou personnes intéressées. Le programme doit tenir compte au début des possibilités réelles, tant en personnel qu'en équipement ou moyens de production. Il doit prévoir un développement important du personnel par entraînement des jeunes ingénieurs ou

techniciens de tous genres, l'apport de l'étranger et la construction sur place d'équipements et de machines.

Il est ensuite nécessaire d'arriver le plus tôt possible à une cadence de travail appropriée, seul un travail intensif de tous étant capable d'orienter et démarrer la production dans des délais raisonnables, préliminaire essentiel pour recréer en France le matériel nécessaire à un retour à une vie présentant un caractère « normal ».

Quittant le domaine des généralités, quelles sont, dans le domaine de la radioélectricité, les questions essentielles qui demandent l'élaboration des programmes dont nous venons de parler ?

Faisons rapidement le tour des domaines principaux. Nous pouvons citer d'abord la radiodiffusion qui se divise elle-même en services nationaux à ondes moyennes et ultra-courtes, services internationaux ou d'empire à ondes courtes.

La technique de radiodiffusion sur ondes moyennes et courtes semble assez établie. Les plans font jouer plutôt les questions de longueur d'ondes disponibles, de conformation de réseaux et d'interconnexion. Citons en passant l'augmentation de puissance pour la radiodiffusion ondes courtes. Deux stations récentes de l'O. W. I. (Office of War Information) utilisent 200 kw. d'onde porteuse.

Dans le domaine de la radiodiffusion des ondes par ultracourtes, les questions à résoudre sont plus fondamentales. Y a-t-il lieu de prévoir en France comme aux Etats-Unis un développement très important de cette forme de radiodiffusion ? Doit-on adopter, comme ayant fait toutes ses preuves, la modulation de fréquence ? Faut-il utiliser la bande de fréquence de 42 à 50 kc. proposée aux Etats-Unis avant guerre ? Y aura-t-il des réflexions indésirables à ces fréquences sur les couches ionisées ? Faut-il abandonner cette bande en faveur de fréquences plus élevées ? La recommandation récente du F. C. C. (Federal Communication Commission) est de reporter les fréquences radiodiflusion en ondes ultra-courtes dans la bande 84 mc/s à 108 mc/s.

D'autres questions se posent encore. On a parlé de faire des stations de radiodiffusion à ondes ultra-courtes en nombre considérable, chaque programme utilisant un emplacement, un équipement, une antenne. Nous avons proposé, d'autre part, de faire des stations dont chacune puisse transmettre plusieurs programmes simultanés, 12 par exemple (1). Très souvent, dans une ville, un seul point est favorable à l'installation d'une antenne pour ondes ultra-courtes. D'autres ont envisagé une antenne unique et un seul transmetteur à bande large dans une ville, capable de transmettre tous les programmes.

Dans le cas de transmissions multiples, il est nécessaire de considérer en dehors de la modulation d'amplitude ou de fréquence, les mérites des systèmes à impulsions modulées dans le temps dont j'ai décrit les caractéristiques principales tout récemment dans un article publié dans le journal « Electrical Communication » (2).

La radiodiffusion de programmes de télévision soulève elle aussi des questions fondamentales. Les caractéristiques des signaux utilisés avant la guerre sont mises en cause. Il semble que les Standards d'avant guerre 441, 455 ou 551 lignes, n'aient que peu de chances de se maintenir devant la possibilité d'introduction de systèmes à plus haute définition, soit 750 ou 1.000 lignes et devant l'attraction auprès du public de la présentation en couleur comparée au blanc et noir.

Les bandes de fréquences plus larges demandées par de telles transmissions nécessitent à leur tour des fréquences porteuses plus élevées et aux Etats-Unis une bande au-dessus de 500 mc a été réservée aux transmissions de télévision expérimentales de ce genre.

La transmission du programme sonore accompagnant l'image peut se faire aussi, soit en modulation d'amplitude, de fréquence ou d'impulsion, combinée ou non aux signaux de télévision.

Autant de questions qui doivent être étudiées et auxquelles on doit trouver une réponse, avant d'aborder un programme général de construction d'émetteurs et de récepteurs.

Les systèmes de communication à grande distance par ondes courtes ont évolué de leur côté. On assiste principalement au développement généralisé des systèmes téléphoniques à bande latérale unique sur ondes courtes, systèmes dont j'avais cité les avantages en janvier 1932 dans une communication à la Société Française des Electriciens (3) faite à la suite d'une démonstration comparative des systèmes avec et sans courants porteurs faite aux autorités françaises entre Trappes et Madrid.

Ces systèmes sont capables, avec une économie importante de puissance et de largeur de bande de fréquences utilisée, de transmettre une ou plusieurs voies téléphoniques simultanées. Chaque voie téléphonique peut à son tour être subdivisée en plusieurs voies télégraphiques. Avec des systèmes adaptés, ces voies fonctionnent directement avec des appareils téléimprimeurs terminaux. Une voie téléphonique peut être utilisée aussi pour la transmission des documents photographiques.

Enfin des méthodes donnant aux communications radiotéléphoniques un degré de secret plus ou moins complet peuvent être introduites dans le réseau.

Etant donné qu'il existe déjà un nombre important de liaisons radio à bande latérale unique en exploitation dans le monde et étant donné que le nouveau réseau français devra évidemment former un ensemble capable d'interconnexion, il y aura donc lieu de décider après étude quelles normes devront être adoptées pour les liaisons radio à grande distance à établir dans les années prochaines.

(1) Journaux de New-York du 24-1-45.

(2) *Electrical Communication*, volume 22, n° 2.

(3) Bulletin n° 21 de septembre 1932, pages 940 à 1009.

C'est toutefois dans le domaine des ondes ultra-courtes que les développements les plus sensationnels se sont produits et qu'il est en conséquence particulièrement important de mettre de l'ordre.

Là encore, je me permettrai de vous rappeler que ce domaine avait été étudié de très près en France en particulier au cours des travaux de MM. Gutton, Beauvais, Clavier et de leurs assistants dont les études conduisaient en 1933 à l'établissement du premier circuit téléphonique à ondes ultra-courtes à travers la Manche sur 17 cm de longueur d'onde. L'étude des antennes et réflecteurs avait été faite par MM. Clavier et Darbord. On voit la reproduction sur la couverture du journal des antennes de Saint Inglevert. Ces projecteurs représentaient à l'époque une avance technique considérable et des publications récentes étrangères sur la détection électromagnétique citent ces études d'antennes comme étant à la base même des types les plus nouveaux.

Aujourd'hui, on parle couramment de faire des liaisons téléphoniques à voies multiples à grande distance par ondes ultra-courtes à faisceaux très dirigés. En particulier, les journaux ont publié que l'American Telephone and Telegraph propose d'établir un premier circuit entre New-York et Boston par l'intermédiaire de relais successifs, placés à environ 50 kilomètres les uns des autres, et que cette première liaison constituera une installation expérimentale de laquelle on pourra déduire les données nécessaires sur les prix de revient probables de tels systèmes et sur leur performance.

Ce n'est d'ailleurs pas un cas unique. Plusieurs organisations font des études du même type et de tous côtés on cherche à se rendre compte du domaine probable d'application de ces systèmes, que l'on pense d'ailleurs devoir être fort important. Les systèmes de transmission semblent devoir être, soit par translation des voies individuelles téléphoniques dans l'échelle de fréquence, suivant la technique utilisée pour les terminaux de câbles coaxiaux, et modulation de fréquence de l'ensemble des voies à la fréquence porteuse utilisée dans le faisceau dirigé, soit en utilisant la méthode de modulations d'impulsions dans le temps, les différentes voies étant imbriquées l'une après l'autre par une méthode qui rappelle une télégraphie multiplex, très accélérée.

Il est probable que, sous une forme ou l'autre, ces liaisons par ondes ultra-courtes dirigées seront avantageusement utilisées pour établir le réseau de base de communications coloniales. Il est possible que l'on puisse justifier ces systèmes même pour les liaisons du réseau métropolitain.

Comment faire un plan d'ensemble de communications impériales sans faire intervenir les possibilités de telles méthodes de communications susceptibles de modifier profondément les conceptions d'avant guerre, tant au point de vue économique qu'au point de vue de la sécurité des communications ?

Le plan technique dont nous indiquons les têtes de chapitre principales devra donc tenir compte de toutes ces considérations.

Je vous rappellerai, si vous me le permettez, qu'après 1918 un problème s'est posé : la coordination des communications à grande distance, communications qui se faisaient alors principalement par fils aériens et câbles. On s'est demandé très justement à l'époque comment allaient être réalisés les circuits à grande distance traversant de nombreux états, tout en obtenant les caractéristiques électriques nécessaires pour que ces circuits soient satisfaisants.

Cette question était fondamentale, puisque si on ne l'avait pas résolue, la téléphonie à grande distance n'aurait pas pu atteindre même le niveau relativement modeste atteint en Europe en 1939. Des Comités ont été créés pour l'étudier. En particulier la France a pris une part active à la création de ce qui a été appelé plus tard le C. C. I. F. « Comité Consultatif International pour les Liaisons Téléphoniques à Grandes Distances ». Ce Comité a cherché à résoudre le problème de coordination des moyens de communications téléphoniques à grandes distances.

La tâche de Comités de ce genre à l'heure présente est encore beaucoup plus lourde et complexe qu'après la guerre de 1914-1918, par suite du retard datant d'avant guerre, des destructions et de l'apparence de nouveaux systèmes déjà indiqués. Des problèmes nouveaux dans le domaine des transmissions viennent s'ajouter à ce total impressionnant, dont je voudrais citer deux principaux aspects.

Le premier est relatif aux demandes probables de la navigation aérienne.

On est généralement d'accord pour admettre que l'après guerre verra un grand développement de l'aviation commerciale, et jusqu'à présent on n'a pas très bien expliqué comment une immense flotte aérienne allait se déplacer par faible visibilité sans retard ni danger.

C'est un problème extrêmement difficile, je crois, puisque ce problème, au moins comme je l'ai compris, n'est pas simplement de faire partir un avion d'un point par beau temps et de le faire aboutir à un autre point par beau temps. C'est au contraire un problème qui consiste essentiellement à faire partir un grand nombre d'avions de nationalités différentes, de plusieurs points par mauvais temps et mauvaise visibilité, et à les faire atterrir en d'autres points nombreux, et dans plusieurs pays, par mauvais temps et mauvaise visibilité, avec la même régularité que si la visibilité était bonne. Autrement dit on ne peut pas maginer un grand développement de l'aviation commerciale si, chaque fois que le temps se bouche, le trafic est diminué ou retardé dans des proportions importantes.

Il est évident d'autre part que l'aviation commerciale d'après guerre ne sera pas une aviation destinée à transporter un poids considérable de

matériel radio, et ne pourra disposer dans l'air d'une multiplicité d'antennes, le but de l'aviation commerciale étant essentiellement de transporter des passagers et du fret au prix de revient minimum.

Il est donc nécessaire d'envisager des méthodes qui permettront de réduire au minimum la quantité de matériel radio et autres matériels auxiliaires, spécialement les antennes à bord d'avion. Ceci ne peut se faire que si l'on établit au préalable des plans coordonnés avec le plus grand soin, qui permettent à un matériel donné de remplir si possible plusieurs fonctions simultanément ou successivement et de plus de fonctionner sur différents aérodromes d'un même pays ou de différents pays.

Si l'on réfléchit aux conséquences de cette nécessité, on réalise à quel point le problème de la navigation aérienne est complexe et important. Pour faire progresser l'aviation commerciale, il faut d'abord arriver à un plan coordonné national des méthodes de navigation, et qu'ensuite on porte cet accord sur le plan international.

La navigation aérienne fait appel, parmi ses méthodes, tout d'abord aux communications radio des avions à différents points fixes, en particulier avec les tours contrôlant le trafic aérien. Ces communications ne peuvent être établies, au moins sur les continents, en utilisant la gamme des ondes courtes, par suite même de l'étroitesse relative de cette bande, et de la nécessité absolue de la réserver aux communications à grande distance à travers les mers ou les régions inaccessibles ou non habitées.

Il faut donc prévoir qu'on sera obligé d'établir les communications avec les avions en utilisant les ondes ultra-courtes et qu'en conséquence les communications se feront dans des conditions quasi optiques. Ceci nécessite l'utilisation de relais radio et le passage subséquent des communications par le réseau terrestre existant, qui devra tenir compte de ce nouveau trafic.

Revenant aux grands espaces coloniaux, on imagine facilement la ligne aérienne et la liaison radio à ondes ultra-courtes amenées par la logique même des choses à emprunter la même route, l'une aidant à résoudre les problèmes de l'autre, tout comme autrefois les premières lignes télégraphiques ont suivi le chemin de fer, l'aidant à résoudre plusieurs problèmes, dont ceux du contrôle du trafic ferroviaire et de la signalisation.

Le second problème nouveau que je voudrais citer est celui de la création d'un réseau de transmissions des signaux de télévision.

Il est insuffisant d'imaginer des stations de radiodiffusion, de télévision, il faut y ajouter le réseau qui permettra d'interconnecter les points de prises de vues aux émetteurs, ou les émetteurs entre eux.

Etant donné les largeurs de bandes de fréquences très importantes envisagées aujourd'hui en télévision, les chiffres variant de 12 à 16 mc/s suivant les auteurs et conservant à l'esprit que le service de télévision pendant longtemps, à l'opposé du téléphone, ne pourra pas avoir des revenus justifiant la mise de fonds nécessitée par des systèmes de transmission correspondants, on se demande dans quel sens il faudra orienter le réseau de télévision pour qu'il ne soit pas à la charge des services déjà existants, téléphone ou télégraphe.

Ceci n'entraîne pas d'ailleurs la nécessité de séparer le réseau de télévision des réseaux de communication existants, au contraire, c'est plutôt dans le sens d'une combinaison des voies de télévision avec les voies téléphoniques qu'on peut espérer arriver à réduire le coût très élevé de la liaison de télévision. Cette combinaison peut s'envisager, soit sous forme de coaxial pour télévision dans la même enveloppe que les coaxiaux téléphoniques ou de faisceaux à ondes ultra-courtes de télévision sur les mêmes tours que le faisceau téléphonique ; là encore on voit la nécessité de prévoir dès que possible de telles combinaisons.

Il est désirable de citer encore une question fort importante pour la France, à savoir celle de la normalisation. Etant donné l'importance des programmes à prévoir pour mettre la France, proportionnellement parlant, au niveau des autres grandes nations industrialisées, et en considération du nombre limité de techniciens et de la main-d'œuvre spécialisée, il est essentiel de tirer le maximum d'un minimum de personnes et de machines, tout en produisant un matériel de haute qualité.

Une solution qui peut donner une aide considérable dans ce sens, consiste à spécialiser les industries dans un domaine limité, et à concentrer dans chacune une grande partie de la demande totale. Par exemple, quelques usines seulement seraient amenées à fabriquer tous les éléments d'un type nécessaire dans l'industrie, arrivant ainsi à utiliser une machinerie pour la grande séric, et introduisant en même temps une normalisation désirable des modèles, et une qualité de fabrication réalisable seulement avec un outillage important et coûteux.

Il est désirable de plus de normaliser dans le domaine radio les dimensions des baies et châssis pour permettre l'utilisation facile de panneaux d'origines différentes, source évidente d'économie, certaines usines se spécialisant dans la fabrication de certains éléments seulement, appareils de mesure ou panneaux d'alimentation par exemple.

L'élimination d'une variété excessive et injustifiée dans les pièces utilisées en radio et dans la forme des assemblages de pièces peut être une grande source d'économie de main-d'œuvre tant au stade de la fabrication qu'à celui de l'exploitation et de l'entretien.

Il est nécessaire enfin, étant donné la situation présente, que les activités des sociétés scientifiques et en particulier de la Société des Radioélectriciens soient beaucoup plus intenses et étendues qu'elles ne l'étaient avant guerre.

La Société des Radioélectriciens doit être le terrain d'échange principal des points de vue des techniciens radio, en dehors des rivalités de Société ou de Services. Il faut que les techniciens se connaissent et échangent leurs idées librement ; cet échange doit être guidé par un programme.

Le rôle de notre Société doit être de premier plan, et nous sommes sûrs que chacun fera l'effort nécessaire pour que sa reprise d'activité, que nous inaugurons aujourd'hui, se fasse avec la vision et la vigueur que demandent les circonstances exceptionnelles de notre époque.

DELORAINE.

Discussion

M. PONTE. — Dans l'exposé que vous avez fait, il y a un point qu'il faudrait discuter.

Vous avez dit avec beaucoup de raison que la France avait été isolée, mais cela ne veut pas dire que les Laboratoires n'ont pas travaillé en France pendant l'occupation. Au contraire, je crois qu'ils ont eu des résultats intéressants, et ceci nous est prouvé par les visites que nous avons eues, dans les usines, où les visiteurs sont en général assez étonnés de l'état de nos recherches, notamment dans les communications par ondes ultra-courtes, problème multiplex, que vous avez évoqué tout à l'heure. Là, la question a été extrêmement poussée.

Par conséquent, je crois qu'il faut bien voir au départ, maintenant que nous voulons tous repartir et donner un coup de collier, que la recherche française, même pendant ce temps d'occupation, a énormément travaillé, et je crois qu'on peut même dire que le rendement unitaire des chercheurs français — c'est une formule vague, mais vous comprenez certainement — a été assez élevé pendant cette période. C'est très réconfortant, car pendant cette période, nous avons été coupés de toute information étrangère. Par conséquent, ceci est de très bon augure pour la recherche française plus tard.

M. MOUNY. — Il me semble que comme nous avons été séparés du reste du monde, actuellement, nous n'avons pas encore de bulletins techniques. Aucune presse encore n'a diffusé toute la technique, ni même un livre de vulgarisation de radiodiffusion. Il me semble qu'il serait intéressant qu'on reprenne la publication de tout ce qui peut intéresser la radio au point de vue technique.

M. LE SECRÉTAIRE GÉNÉRAL. — Je voudrais demander à M. Deloraine s'il peut éclaircir une situation à laquelle il a fait allusion.

Vous avez dit que, pendant la guerre, on avait supprimé toute notion de concurrence entre les organismes qui travaillaient. Est-ce qu'on peut concevoir, en France, que la suppression de la concurrence joue, tout en respectant les moyens légitimes des différentes maisons qui travaillent aux mêmes problèmes ? C'est une chose évidemment très difficile à dire.

M. DELORAINE. — C'est une question très appropriée, qui ne peut être résolue que sur un plan gouvernemental ou semi-gouvernemental.

Si un groupement quelconque a un problème à résoudre pour la défense nationale, et qu'une partie des connaissances nécessaires existe dans un autre groupement quelconque, la machinerie existe aux Etats-Unis pour mettre à la disposition du premier groupement les renseignements possédés par le second.

Il reste cependant un élément de concurrence technique, puisque le résultat final du premier groupement dépend dans une large mesure de son propre travail.

M. CHEREAU. — Je viens de lire dans le journal anglais *Nature* un article sur ce sujet qui exprime l'opinion que si les échanges d'information se sont faits de façon si efficace aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne, c'est par suite du fonctionnement tout à fait parfait, dans les deux pays, du système des brevets. Les inventions sur lesquelles les appropriations de droits légitimes sont justifiées par le système des brevets sont généralement brevetées avant que les communications soient faites entre Sociétés.

En conséquence, tous les droits que les Sociétés peuvent légitimement revendiquer se trouvent protégés, et les Sociétés se les communiquent très librement.

M. DELORAINE. — Je ne suis pas très fort sur les questions de brevets. Mais je crois comprendre qu'aux Etats-Unis, le fait même qu'un document est remis aux autorités établit une date et vous protège au point de vue de votre propriété industrielle.

Je voudrais profiter de ce que j'ai la parole pour répondre à M. Ponte.

Je n'ai jamais pensé une minute à sous-estimer l'effort fait en France, que j'apprécie moi-même vivement, puisque je viens d'avoir l'occasion de faire le tour de la question. Je suis d'accord avec ce que M. Ponte a dit et j'admire beaucoup ce qui a été fait.

D'un autre côté, je crois qu'il serait dangereux d'en déduire que la situation est satisfaisante. C'est ce point de vue-là qu'il est prudent de ne pas prendre, sans toutefois diminuer l'importance de ce qui a été fait.

M. GRIVET. — Je voudrais demander à M. Deloraine s'il pense que cette organisation dont il a décrit les grands traits peut être souhaitable en temps de paix, s'il n'y a pas un danger qu'elle évolue.

Cette remarque est guidée par la constatation suivante : c'est que j'ai eu deux livres américains entre les mains sur les ondes courtes. Il y en a un qui est fait par le professeur Slatter. Je me demande si, après la guerre, ce professeur ne retournera pas à des recherches sur des métaux dont il avait l'habitude avant, comme, par exemple, le professeur Langevin autrefois, qui, pendant la guerre, a fait son système piézo-électrique, et ne s'en est plus occupé ensuite.

Je demande si cette organisation actuelle ne doit pas tout de même perdre de sa stabilité pour des raisons analogues ?

M. DELORAINE. — Je vais répondre d'abord que, malheureusement, nous sommes en plein état de guerre. La question ne se pose pas en ce moment. Il faut qu'une organisation soit créée qui réponde à l'état de guerre.

En second lieu, il est possible qu'aux Etats-Unis cet édifice s'assouplisse beaucoup, et rapidement, après la guerre. Mais en France, nous sommes peut-être obligés de voir les choses d'une façon différente, puisque, étant donné les destructions, et tout ce qui est à refaire, il est probable que pendant un certain temps après la guerre, l'organisation industrielle sera peut-être plus rigide qu'elle ne le sera aux Etats-Unis qui vont probablement reprendre un système où la liberté individuelle, au point de vue industriel, sera très grande.

M. BARRÉ. — M. Deloraine a signalé l'urgence et l'intérêt d'un plan de recherches. Nous sommes certainement tous d'accord.

J'ai cru comprendre qu'il demandait à la Société Française des Radioélectriciens de s'y intéresser tout spécialement.

Or, ce n'est pas trahir un secret de dire ici qu'au Ministère des P. T. T. on envisage la création d'un Centre National d'Etudes de Télécommunications. Quelles seront les articulations entre les initiatives privées et cette initiative qui sera, en somme, officielle ? Je crois que c'est une question qui intéresse tout le monde, car de l'orientation donnée dépendront les recherches particulières.

M. DELORAINE. — Cette question est très appropriée. Je crois que les deux choses doivent coexister.

Une Société comme la Société des Radioélectriciens peut faire des communications qui seront étudiées avec intérêt par le Centre National de Recherches.

Il me semble que si ces communications sont bien faites, elles trouveront leur place. Je comprends bien que

la Société des Radioélectriciens ne peut pas passer à l'action, puisqu'elle n'a aucun pouvoir.

Je propose simplement dans mon exposé, puisqu'il faut obtenir le maximum de résultats, que les Radioélectriciens fournissent leur part dans l'effort général.

M. LE SECRÉTAIRE GÉNÉRAL. — Je peux dire qu'il y aurait là dedans une affaire de liaison. Jamais la Société des Radioélectriciens ne cherchera à se substituer à une autorité quelconque. Cette liaison est déjà amorcée, car je puis vous dire que la reparution de *L'Onde Electrique* a été agitée d'accord avec les représentants de l'organisme dont vous parlez. C'est avec leur parfait assentiment que nous relançons la revue.

Par conséquent, sur ce point, par exemple, la liaison a fonctionné et a déjà donné un bon résultat.

M. PAGÈS. — Est-ce que le fait qu'on tend en Amérique à éviter toutes les études inutiles, a pour conséquence que chaque question est étudiée dans un organisme concentré, ou au contraire, est-ce qu'une question peut être tout de même étudiée par différents organismes, en remplaçant par des échanges techniques dont vous avez parlé, les questions de concurrence par une émulation.

M. DELORAINE. — Je crois que l'émulation n'est pas éliminée dans le processus. En général, si une étude aboutit, une construction en série d'un certain matériel en résulte et ceux qui ont fait l'étude, s'ils sont industriels, sont les mieux placés pour fabriquer ce matériel. Ils ont donc un intérêt évident à réussir leur étude.

MÊME MEMBRE. — Je veux dire qu'il ne faut pas rechercher une trop grande organisation et éviter complètement les études en double et que, même en conservant certaines dualités avec, non pas un esprit de concurrence, mais un esprit d'émulation, on gagne du temps.

M. DELORAINE. — C'est certain.

MÊME MEMBRE. — Le meilleur rendement n'est pas en spécialisant d'une façon brutale.

M. DELORAINE. — Je n'ai pas voulu dire cela. Mais, prenons par exemple, le cas de la navigation aérienne. Il est certain que plusieurs organisations doivent être invitées à faire leurs plans indépendamment. Après quoi on passera à un stade de coordination. Chacun a l'occasion de faire un effort individuel à un certain stade.

Arrivé au stade coordonné, il n'est pas possible que chacun fabrique son propre appareil ou système.

D'autre part, quand dans une organisation on dispose du temps et des talents nécessaires, il n'y a pas intérêt à doubler, tripler ou quadrupler ailleurs les travaux

MÊME MEMBRE. — Il faut trouver un état d'équilibre entre une organisation trop poussée, dont les Allemands nous ont donné la caricature, et un libéralisme trop poussé, dont nous connaissons les inconvénients.

M. CAHEN. — Je voudrais poser une question corrélative à ce que vous avez dit. Est-ce qu'il existe en Amérique et est-ce qu'on peut envisager des laboratoires communs à plusieurs sociétés ? Est-ce que c'est une méthode qui peut marcher ?

M. DELORAINE. — *A priori,* je n'en vois pas : il y a des sociétés qui ont des branches multiples et qui font beaucoup de choses ; d'autres qui ont une branche unique. Je ne vois pas immédiatement — je peux me tromper — de sociétés qui auraient des activités plus ou moins parallèles avec un laboratoire commun. Il existe toutefois des laboratoires qui font figure de sociétés, qui offrent leurs services. Cela existe dans plusieurs branches de l'industrie. Vous trouverez de ces laboratoires, surtout dans la métallurgie, dans la chimie.

MÊME MEMBRE. — Les études restent la propriété de celui qui commande ?

M. DELORAINE. — Dans le cas de contrat avec les sociétés de recherches, les résultats se trouvent achetés dans le contrat.

UN MEMBRE. — Les exemples existent en Suisse ; les sociétés industrielles peuvent envoyer en stage des ingénieurs pour étudier certaines questions, et ensuite, les travaux, les brevets sont la propriété, en double, de l'industriel qui les a financés en partie et de l'école qui a fourni les moyens de laboratoires.

M. DELORAINE. — Cela existe aux Etats-Unis, dans les Universités. Je parlais des laboratoires industriels qui vivent en recevant des commandes d'études. En dehors de cela, vous avez le cas des Universités qui cherchent à augmenter l'intérêt des travaux donnés aux élèves, — et c'est une chose à retenir — en leur posant des problèmes réels qui leur sont indiqués par l'industrie.

UN MEMBRE. — Cela existe en France.

UN AUTRE MEMBRE. — Cela existe dans les statuts de l'Ecole Polytechnique.

M. DELORAINE. — Voilà une information tout à fait importante ; je crois qu'il serait très intéressant que l'industrie pose des problèmes aux grandes écoles, pour que les élèves, au lieu de se contenter de faire ce qu'on appelle des manipulations, fassent des études qui aient une application directe. Je crois que ce serait un très grand encouragement pour les élèves, de penser que leurs travaux ont une chance d'être appliqués.

MÊME MEMBRE. — Actuellement, il y a des sociétés officielles.

M. DELORAINE. — Il faudrait qu'on encourage encore ceci.

M. CLAVIER. — Je m'excuse, mais je vais changer un peu de sujet et rétrécir l'horizon de cette discussion.

Les techniciens qui ont, en dépit des difficultés de la situation, continué à faire quelques recherches, sont heureux de saluer l'ère de la liberté qui arrive, et ils sont aussi flattés des hommages qui leur ont été rendus. Ils espèrent que tout sera mis en œuvre pour faciliter en France les travaux de recherche. Je voudrais simplement attirer l'attention dans l'énumération des grandes questions que M. Deloraine a faite, sur l'importance que les ondes courtes ont prise dans le développement de la technique actuelle. Sous le nom d'ondes très courtes ou ultra-courtes, il subsiste cependant une certaine imprécision.

Je crois que je me ferais l'interprète de beaucoup d'entre nous en demandant à M. Deloraine s'il pouvait un peu préciser de quelles ondes ultra-courtes il s'agit.

M. DELORAINE. — J'aurais beaucoup de plaisir à préciser beaucoup de choses, mais c'est peut-être un peu difficile pour le moment.

Je puis répondre à M. Clavier que ce sont *toutes* les ondes ultra-courtes, c'est-à-dire toutes celles qu'on sait produire et qu'on sait manipuler.

Vous savez vous-même ce qui a été fait autrefois, puisque j'ai vu un de vos articles où vous décriviez un tube qui fonctionnait sur 9 millimètres de longueur d'onde. Voilà certainement des ondes assez courtes.

Eh bien ! on entend par ce domaine qui a pris un développement exceptionnel, comme vous le dites vous-même, le domaine au-dessous de dix mètres de longueur d'onde, et ce domaine se prolonge jusqu'aux ondes aussi courtes qu'on sait aujourd'hui techniquement les produire en ce qui concerne les applications.

M. LE PRÉSIDENT. — Si personne ne demande la parole je n'ai plus qu'à remercier M. Deloraine de son très intéressant exposé.

LE TABLEAU ELECTRO-CINETIQUE

PAR

P. TOULON,

Ingénieur-Conseil.

SOMMAIRE

L'auteur s'est proposé d'exposer le but et les résultats d'études spéciales qu'il poursuit depuis une dizaine d'années, dans un domaine très peu connu. Il s'agit de réaliser un écran récepteur de télévision, de très grandes dimensions (plusieurs mètres de côté, par exemple). Suivant une technique nouvelle, tous les « points » de l'écran sont continuellement alimentés électriquement et chacun d'eux a la remarquable propriété de changer continuellement d'aspect.

Après un rapide exposé historique, l'auteur passe en revue les diverses solutions qu'il a expérimentées, en signalant dans chaque cas les avantages et les inconvénients. Il expose les moyens proposés pour constituer une multitude de « points » capables de devenir, sous l'action d'une tension électrique, noirs, blancs ou gris instantanément et d'une façon réversible (palette d'aluminium rebattu, ou solutions colloïdales polarisantes orientées électrostatiquement).

I. **Définition.**

Pour paraître homogène à l'œil, un tableau doit comporter un nombre extrêmement élevé de points, ou surfaces élémentaires extrêmement petites : par exemple, 800 points dans le sens de la largeur, 600 dans le sens de la hauteur, soit près de 500.000 éléments indépendants. Dans ce qui va suivre, je désignerai par le terme inattendu de « Tableau électro-cinétique » un écran de télévision multi-élémentaire, qui diffuse, par *sa face avant*, la lumière provenant des objets extérieurs qui l'entourent (de même qu'un dessin ou un agrandissement photographique) et dont chaque élément peut être contrôlé instantanément sous l'action d'une *tension électrique*. J'appellerai Elément électro-optique la surface élémentaire capable d'être modulée électriquement (surface d'un point).

Construire côte à côte 500.000 petits éléments électro-optiques, capables d'être modulés instantanément (c'est-à-dire de devenir blancs, gris ou noirs sous l'action de l'électricité) et trouver aussi le moyen de les alimenter tous, chacun à tour de rôle, tous les 1/25e de seconde, voilà qui peut paraître une utopie d'inventeur. Je rappellerai cependant que nous sommes entourés de beaucoup d'objets familiers, auxquels nous ne prêtons aucune attention, qui comprennent également d'innombrables parties juxtaposées : par exemple, les points d'une tapisserie, les mailles d'un drap tissé se chiffrent par centaines de millions. On les réalise cependant très facilement sur un « métier ». Les grains d'un rouleau de pellicule cinématographique se chiffrent aussi par dizaines de milliards et, cependant, chacun d'eux est sensibilisé, impressionné, développé par des procédés très rapides... Toute la difficulté est donc de trouver la méthode à employer (1) pour fabriquer en grande série ces éléments.

(1) La nature nous offre aussi beaucoup d'exemples d'éléments extrêmement nombreux, tous identiques entre eux. Par exemple, les feuilles d'un grand arbre, les cellules d'un tissu vivant, les grains d'un champ de blé sont des unités toutes semblables entre elles.

Cet article a pour but de montrer que le problème, encore assez lointain aujourd'hui, pourra peut-être bientôt être résolu d'une façon relativement simple. Il ne semble pas impossible de penser qu'on parviendra un jour à construire ce tableau et à alimenter statiquement chacun de ces *500.000 points* à partir d'une ligne *unique* recevant les impulsions de télévision.

Pour y parvenir, je propose la disposition suivante : les impulsions de vision seront d'abord aiguillées une première fois d'une façon statique (répartiteur dit « à grande vitesse ») entre un grand nombre de conducteurs, dont chacun desservira une ligne verticale d'éléments du tableau. (Le nombre de ces conducteurs sera de 800, par exemple.) Je ne décrirai pas ici la méthode proposée dans ce but : elle a été exposée déjà (1). Puis une seconde répartition statique sera effectuée, à l'intérieur même du tableau (répartition dite à « petite vitesse »), entre chacun des 600 points de chaque ligne, en faisant appel aux propriétés de la diode à effluves dont le principe a aussi été décrit (2).

II. **Propriétés de l'écran électro-cinétique.**

On sait depuis longtemps qu'il est possible de faire apparaître une image sur une toile blanche placée dans l'obscurité : les « Ombres chinoises » de nos ancêtres, les projections photographiques de nos pères, enfin le cinématographe, avec son prodigieux essor, nous ont familiarisés avec les images *projetées*.

D'autre part, les écrans de radioscopie, les tubes de télévision nous ont aussi habitués aux écrans fluorescents qui *engendrent* la lumière à leur contact.

Images projetées ou images luminescentes présentent toutes les deux de très graves inconvénients : 1° la quantité de lumière émise est indé-

(1) *Bull. de la Société Française des Electriciens*, novembre 1940 et mars 1941.

(2) *Bull. de la Société Française des Electriciens*, février 1942.

pendante de l'éclairage de la pièce ; 2° d'autre part, la surface sur laquelle est faite la projection étant blanche, l'image ne peut être vue que dans l'obscurité, sinon les parties noires sont « lavées » par la lumière ambiante.

Bien que l'on ait proposé d'ingénieux artifices qui permettent de remédier, dans une certaine mesure, à ce second défaut (c'est-à-dire de donner à l'écran une surface apparente pratiquement noire, de telle façon que la lumière extérieure n'introduise pas de trouble), il n'en demeure pas moins que la quantité de lumière émise par l'écran recevant une image projetée est pratiquement très faible. Dans une pièce très éclairée ou en plein soleil, l'image devient pratiquement presque invisible. La luminosité de l'écran n'augmente pas au fur et à mesure de l'éclairage de la pièce.

A ces deux défauts importants, s'en ajoute un troisième : celui de l'encombrement. Avec un système de projection, l'appareil doit être placé au milieu de la pièce et le champ de vision (c'est-à-dire le cône ayant l'écran pour base et l'objectif pour sommet) doit être complètement dégagé, sinon le spectateur vient faire lui-même « ombre » sur l'écran ; or, c'est précisément lorsque le spectateur est situé entre l'appareil de projection et l'écran qu'il est le mieux placé pour l'observer. On peut, évidemment, remédier à ce défaut, en opérant par transparence..., mais le montage devient alors très encombrant, car il faut disposer, à l'arrière de l'écran, d'un énorme espace inoccupé. L'encombrement de l'appareil situé à l'arrière est particulièrement important pour les tubes de télévision, dans lequel la vision se fait directement, puisqu'il s'agit alors de placer, non plus seulement un petit projecteur, mais un volumineux tube à vide (dont les risques d'éclatement ne sont pas écartés). Même si le meuble qui contient le tube a des dimensions très volumineuses, l'écran reste toujours très petit.

Infiniment plus séduisante est la solution du *Tableau* accroché au mur pour le plus grand agrément de nos demeures. L'usage du dessin, dont la surface, plus ou moins sombre, diffuse la lumière en quantité variable, remonte à la plus haute antiquité : avec lui, il n'y a plus de limite ni dans la taille, ni dans l'encombrement, plus de restrictions non plus sur la quantité de lumière de la pièce, plus de place privilégiée ou interdite. La vie peut se poursuivre dans notre maison, sans qu'aucune contrainte ne vienne en amoindrir le charme.

Réaliser un tableau « vivant », qui se transforme continuellement au cours du temps, qui permette de « voir » à distance, d'assister chez soi à des spectacles, sans interrompre sa vie de famille..., tel est le désir que j'ai poursuivi, en étudiant le « Tableau Electro-Cinétique ».

III. Historique. Etudes antérieures.

Ce désir a hanté l'imagination de nombreux chercheurs, depuis les premières découvertes de l'électricté, car on a tout de suite entrevu que ce serait le courant électrique, judicieusement utilisé, qui apporterait la solution de ce problème, en apparence inextricable, du « Tableau vivant ».

Déjà, vers l'année 1905, on trouve des inventeurs, d'une rare audace ,qui proposent d'employer des annonciateurs téléphoniques pour réaliser les « points » d'une image diffusant la lumière (et visible par l'avant). Je ne décrirai, ici, que des éléments qui diffusent la lumière *ambiante* (1) en insistant sur cette particularité remarquable.

L'écran proposé par l'un de ces précurseurs serait constitué par exemple par un vaste damier, contenant d'innombrables alvéoles creuses et profondes, qui sont assez longues pour qu'elles paraissent normalement noires. Au fond de chacune de ces cavités obscures se cacherait un petit chapeau, peint en blanc : on ne pourrait pas le voir en temps normal ,lorsqu'il est caché puisqu'il n'est pas éclairé au fond de son repaire. Mais un électro-aimant se chargerait de le déplacer et de le faire « sortir de son trou » au moment opportun (fig. 1). Le déplacement s'opérerait à distance, sous l'action d'un courant électrique. L'inventeur propose que ce courant soit fourni, après distribution sur des collecteurs, par la ligne de télévision : grâce à un commutateur mécanique, on pourrait parvenir, en principe, à balayer l'écran, c'est-à-dire à alimenter à tour de rôle chaque annonciateur et, par suite, à transformer chaque point « noir » convenable en un point plus ou moins « blanc », et, par suite, l'image pourrait apparaître, et elle se transformerait au cours du temps.

Si le principe du dispositif décrit ici (collecteur associé à un annonciateur téléphonique) est correct, nous n'insistons pas sur les difficultés insurmontables d'un semblable projet : d'abord la *rapidité* de fonctionnement d'un annonciateur fait complètement défaut. Il met, en général, plusieurs dixièmes de seconde à se déplacer. Or, notre œil est très exigeant et demande que les déplacements soient effectués en moins de 1/25e de seconde, pour que nous ayons une impression de continuité. La *proportionnalité* entre le courant et la quantité de lumière diffusée n'est pas respectée. Un électro-aimant attire en effet « brusquement » la palette de fer doux de l'annonciateur et l'élément passe presque sans tran-

(1) Car il sortirait du cadre de cet article de décrire les méthodes, beaucoup plus nombreuses, qui permettent de contrôler localement, au moyen de l'électricité, un faisceau de lumière opérant par *transparence*. Par exemple, le galvanomètre à corde ou à miroir, l'électromètre à ombre, etc... employés seuls ou avec des systèmes optiques, les dispositifs basés sur les variations d'indices : (« ombres volantes » de Scophonie), les cellules utilisant le dichroïsme électrique ou magnétique (Cellule de Kerr). Les dispositifs qui sont basés sur l'absorption des gaz ou vapeurs, etc..., ou encore les matières luminescentes ou fluorescentes excitées électriquement, etc... ; ceux qui utilisent le contrôle électro-statique des flammes, la précipitation électrique, etc... La physique met à notre portée une multitude de moyens pour résoudre ce second problème (l'élément électro-optique travaillant « par *transparence* ») beaucoup plus facilement que le premier (l'élément « travaillant par diffusion extérieure ») que nous avons spécialement recherché, à cause de ses nombreux avantages.

sition de sa première position « noire », à sa seconde position « blanche ». En raison de l'inertie mécanique des pièces, il est pratiquement impossible d'obtenir une proportionnalité entre le courant instantané et le déplacement. *L'encombrement* de l'annonciateur est aussi inadmissible. On peut difficilement, en effet, réaliser un annonciateur d'un fonctionnement sûr, dans un écran de télévision, comportant, par exemple, 600 lignes de 800 points qui devrait avoir plus de 18 mètres de haut et 25 mètres de large et c'est beaucoup !

Enfin le courant consommé est *énorme :* un annonciateur téléphonique consomme un courant d'environ 0,1 ampère. Pour 500.000 points, il faudrait faire usage d'un courant impressionnant atteignant le chiffre de 50.000 ampères ! Sans parler du poids de la matière employée, du prix et du câblage énorme qu'il faudrait envisager, pour réunir chaque élément à une lame du collecteur. Il est inutile d'insister pour montrer

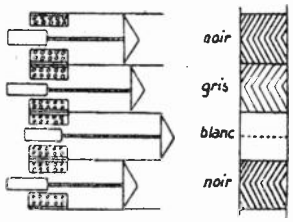


FIG. 1.

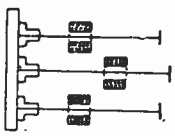


FIG. 2.

FIG. 1. — Elément électro-optique constitué par un annonciateur téléphonique mobile sous l'action d'un électro-aimant-plongeur (breveté).

FIG. 2. — Elément électro-optique constitué par des lames vibrantes de fréquencemètre.

combien ce projet serait complètement irréalisable pratiquement, si l'on voulait par exemple dépasser une cinquantaine de points dans chaque sens.

Une autre méthode, plus raisonnable, pour réaliser les éléments « électro-optiques », consiste à faire appel à des lames vibrantes (fig. 2), analogues à des lames de fréquencemètre (1). Avec des lames en résonance et des circuits magnétiques bien étudiés, les courants sont beaucoup plus faibles (environ cent fois plus faibles) qu'avec les annonciateurs, les dimensions de l'élément peuvent être relativement très petites (moins d'un centimètre de côté). Par contre, la rapidité de réponse reste assez médiocre : car il faut attendre un temps, qui n'est pas négligeable, pour que la lame oscillante ait atteint son amplitude d'équilibre. En outre le courant requis pour l'alimentation de l'électro-aimant est alternatif (ou ondulé) et cela introduit de sérieuses complications pour l'alimentation. Rappelons aussi qu'avec les écrans modernes à haute définition, l'usage d'un collecteur pour assurer la répartition est tout à fait inacceptable, et qu'il faut absolument adopter des méthodes statiques, où l'inertie mécanique n'intervient pas.

(1) D'après KOHN et CLATZEL, p. 475, fig. 284 à 286.

IV. Formes récentes de réalisation. Elément électro-optique « mobile ».

En 1936, j'ai proposé une méthode (2) qui fait appel au phénomène de l'attraction électrostatique exercée par une matière semi-conductrice. Ce phénomène est connu aujourd'hui sous le nom d'effet « Johnson et Rahbec ». Chaque élément est alors simplement constitué par une petite lame d'acier très mince et très souple (épaisseur 3/100 mm), portant à l'avant une petite plaquette blanche. Cette lame est disposée à très faible distance du corps semi-conducteur de forme courbe. C'est par exemple un vernis à la gélatine, recouvrant un dépôt métallique effectué sur une surface isolante à section parabolique. L'application de la tension électrique, entre la lame de ressort et le dépôt conducteur a pour effet de faire coller de proche en proche la lame de ressort sur la surface. Avec une énergie minime, on obtient, grâce à ce système, des déplacements notables (plusieurs millimètres). La construction est excessivement simple et les courants sont extrêmement faibles : nous avons réalisé des éléments qui ne nécessitent par exemple que 3 microampères sous 300 volts environ, ce qui correspond à une puissance inférieure à 1 kw pour la totalité de l'écran. Le déplacement de l'extrémité de la lame d'acier, formant ressort, a pour effet de faire apparaître une petite surface blanche ; celle-ci est normalement cachée derrière un volet (fig. 3). La rapidité de réponse du dispositif est acceptable (1/15 seconde par exemple). Les dimensions de l'élément sont aussi d'un ordre de grandeur convenable (par exemple 8 mm.×8 mm. par élément. Dès cette époque nous avons pu réaliser une portion d'écran « diffusant la lumière qui tombe par sa face avant ». La variation relative des surfaces blanches et noires permet d'ob-

FIG. 4.

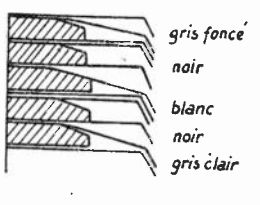


FIG. 3.

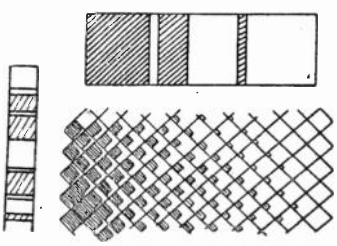


FIG. 4 *bis*.

FIG. 3. — Elément électro-optique constitué par des lames flexibles qui viennent coller sur une surface semi-conductrice par attraction électrostatique.

tenir une modulation progressive. Mais pour pouvoir installer le « volet », il est nécessaire que chaque élément soit séparé de son voisin par une monture, et il a de ce fait une perte appréciable de la surface utile.

On arrive à employer plus efficacement toute la surface, en disposant les éléments en quinconce. On parvient par ailleurs à améliorer la continuité apparente de la surface, en faisant appel à une pellicule gaufrée (voir fig. 4 et 4 *bis*),

(2) Addition n° 48.904 au brevet 826.284 du 23-3-37.

disposée sur la face avant. Par contre, avec ce dispositif la proportionnalité entre la lumière diffusée et le courant laisse encore à désirer. On réalise facilement du « tout ou rien », c'est-à-dire qu'on passe brusquement du noir au blanc ou vice-versa ; mais il est difficile d'obtenir, avec certitude, des demi-teintes données, pour un courant déterminé. Cependant quelques procédés permettent, dans une certaine mesure, de remédier à ce défaut (par exemple en utilisant des bandes reliées à des potentiels progressivement croissants) et il semble possible que ce dispositf puisse encore être utilisé dans l'avenir. Cette disposition a toutefois l'inconvénient de nécessiter une puissance totale encore trop importante.

V. Constitution de l'élément électro-optique mobile.

C'est pour remédier à cette trop grande consommation que j'utilise maintenant un élément électro-optique basé sur le principe de l'électromètre (1). Je fais appel à une feuille d'aluminium extrêmement mince (aluminium rebattu). Cette feuille est découpée par une méthode électrique très rapide, suivant des carrés, ayant environ 6 mm de côté (fig. 5) avec un rectangle supérieur, relié à ces carrés par deux petites « bretelles ». Le rectangle sert à la fixation de la feuille : il est collé sur une bande métallique mince qui permet de la manipuler. Sans cette précaution, la pièce serait d'une extrême fragilité. Les lamelles ainsi découpées sont disposées verticalement, et peuvent pivoter autour

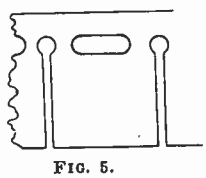


FIG. 5.

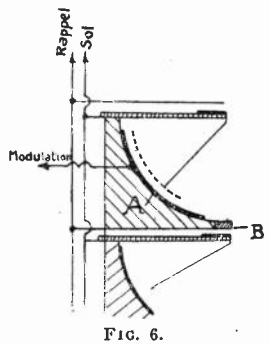


FIG. 6.

FIG. 5 et 6. — Elément électro-optique constitué par une feuille d'aluminium rebattu formant électromètre avec rappel électrostatique.

des bretelles qui forment charnière. La masse de la lamelle mobile étant excessivement faible, il suffit d'une force *absolument minime* pour assurer, même en un temps très court, son inclinaison.

Comme la représente en coupe la figure 6, la feuille d'aluminium rebattu est montée devant une surface cylindrique, l'axe de la charnière étant légèrement déporté par rapport à l'axe du cylindre. Sur cette surface cylindrique, qui est isolante, sont effectués deux dépôts conducteurs indépendants. La première électrode ainsi constituée, disposée à l'arrière, occupe un secteur important A, tandis que la seconde est limitée à une petite bande B, disposée sur la verticale de la charnière. La face avant de l'élément électro-optique ainsi formé est fermée par un verre très légèrement dépoli, qui assure sa protection contre les courants d'air et améliore l'aspect général du « point » de l'image ainsi créée. Des fils conducteurs extrêmement fins, collés au verre, parallèlement et assez écartés les uns des autres empêchent le verre de prendre des charges électriques gênantes. Ces fils, ainsi que la palette sont reliés au sol, tandis que le secteur inférieur est relié à une différence de potentiel électrique constante, de quelques centaines de volts, ce qui assure la tension mécanique de la palette, et son rappel immédiat. Le poids de la palette est négligeable vis-à-vis des forces électriques, relativement importantes, auxquelles elle est soumise. Le secteur arrière A reçoit la modulation.

On conçoit facilement le fonctionnement du système : en temps normal, c'est-à-dire si aucune tension n'est appliquée à l'électrode arrière, l'électrode auxiliaire inférieure B exerce seule son action ; la feuille d'aluminium est verticale, et parallèle au verre dépoli : elle renvoie une quantité importante de lumière, le point paraît « blanc »

Si une tension électrique est appliquée au secteur de modulation, la feuille s'incline, comme le représente la figure 6 : l'inclinaison dépend de la tension appliquée. La palette peut même devenir complètement horizontale, si la tension est assez forte pour que l'influence de l'électrode auxiliaire de rappel B soit négligeable, car dans cette position la distance qui sépare l'extrémité de la feuille d'aluminium du secteur arrière est alors minimum. Dès que la tension appliquée à l'électrode de modulation a disparu, la feuille reprend sa position verticale. Le rappel est instantané.

Suivant que la palette est plus ou moins inclinée, elle réfléchit une quantité de lumière de plus en plus faible : le fond de l'alvéole est peint en noir. Quand elle est horizontale, le verre dépoli (ou mieux une pellicule gaufrée en acétate de cellulose) est assez transparent pour que ce point soit pratiquement presque « noir ».

Avec cette disposition électrométrique, le courant consommé est *excessivement faible,* de l'ordre du centième de microampère par élément. Moins d'une centaine de watts suffisent à alimenter tout un grand écran. Par rapport aux systèmes décrits précédemment, c'est là un gros avantage. La rapidité de réponse est également excellente : on parvient facilement à suivre optiquement des modulations atteignant la fréquence de cinquante par seconde.

Il serait impossible, bien entendu, de fabriquer d'un seul tenant un écran comportant 500.000 élé-

(1) Brevet français n° 860.841 du 28-1-1939 et son addition n° 39.202.

(Voir suite page 15.)

(Suite de la page 14.)

ments. On ne peut envisager sa construction que par l'assemblage d'un grand nombre de fragments. Je l'ai étudié en faisant appel à des dalles juxtaposées, chacune d'elles comportant, par exemple, $50 \times 50 = 2.500$ éléments. Chaque dalle a environ 50 cm de côté. L'écran est réalisé par l'assemblage d'environ 200 dalles côte à côte, d'une façon analogue aux carreaux d'un dallage.

Tous les procédés que nous venons de décrire comportent des pièces mobiles. Nous disons qu'ils sont « dynamiques », car ils utilisent le déplacement matériel d'une pièce par rapport à l'autre : (soit en déplaçant une surface blanche, soit en l'inclinant, en démasquant une surface noire ou vice versa). Les déplacements continuels de pièces mécaniques présentent certains inconvénients : ils provoquent de l'usure. (On est cependant surpris de la solidité des bretelles en aluminium rebattu : certains éléments ont pu fonctionner plusieurs mois tout en étant soumis à la modulation maximum à 50 périodes par seconde.) D'autre part, il faut presque inévitablement disposer, autour de chaque élément, un « cadre », qui le sépare du suivant. La surface de l'écran ne peut donc pas être continue ; elle est « morcelée ». Dans presque tous les cas, une perte notable de surface utile doit être consentie de ce fait : soit qu'il s'agisse des électrodes entourant la palette de l'électromètre et assurant son rappel, soit qu'il s'agisse des caches derrière lesquelles viennent se masquer les volets mobiles des « voyants ».

VI. Eléments électro-optiques statiques.

Il serait infiniment plus souhaitable de faire appel à un élément électro-optique *statique*, c'est-à-dire de trouver une matière qui se transforme sur place et dont la teinte ou l'aspect varie sur *toute son étendue*, sous l'action du champ électrique. Le contour de chaque point pourrait alors être beaucoup moins visible et la qualité de l'image se trouverait grandement améliorée, surtout s'il y a une fusion partielle entre les teintes des points juxtaposés (fig. 7). Par rapport aux « volets » ou aux « voyants » mobiles, le progrès serait analogue à celui que l'on réalise en rotocalcographie par rapport à la reproduction « tramée », les teintes « lavées » et n'ayant pas de contours précis présentant une qualité bien plus agréable que les documents « ponctués » réalisés en se servant de trames.

La solution définitive du problème ne paraît pas avoir été encore trouvée. Il est cependant intéressant d'examiner l'état actuel de la technique.

J'ai proposé (1) il y a une dizaine d'années d'employer une surface « homogène » dont la teinte varie sur toute son étendue. L'élément électro-optique sert *à la fois* d'élément modulateur de lumière et d'élément diffusant. Par ce procédé on parviendrait à réaliser un élément électro-optique visible par sa surface *avant*, et qui diffuserait la lumière *extérieure* en quantité variable, quelle que soit la position de la, ou des sources lumineuses dans la pièce et quelle que soit la position de l'observateur. Cette modulation progressive du blanc en noir serait réalisée sans qu'aucun déplacement mécanique apparent n'intervienne, sans qu'aucun rapport de surface n'entre en jeu. La solution proposée et essayée à l'époque consistait à faire appel à des éléments électro-chimiques, en particulier à des solutions électrolytiques, contenant en suspension des indicateurs colorés réversibles.

On sait qu'il existe un très grand nombre d'indicateurs colorés (2), qui possèdent au plus haut degré la propriété de mettre en évidence le degré d'acidité ou de basicité d'une solution. Ph. Or, ce degré Ph (c'est-à-dire cette concentration en ions) varie très facilement au voisinage des électrodes avec le passage du courant à travers le bain électrolytique. Employer cette propriété pour réaliser un élément électro-optique réversible serait une idée particulièrement séduisante.

J'ai donc proposé en 1936 de construire de petites cuves verticales, étroites et minces (fig. 8) contenant l'électrolyte avec une solution colloïdale de colorant. La cuve était elle-même séparée

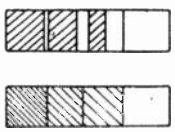


FIG. 7

FIG. 7.
Teintes tramées

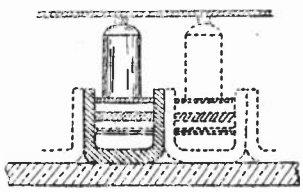


FIG. 8

FIG. 8.
Variation électrique du Ph avec emploi d'un indicateur coloré.

en deux parties par une cloison poreuse (une feuille de papier buvard). Dans l'une se trouvait un grillage continu en fil très fin, presque invisible, qui constituait une électrode commune.

Dans la chambre arrière était installée une rangée de petites plaques indépendantes les unes des autres qui recevaient chacune le courant modulé correspondant à un point. Dès que l'on appliquait le courant, la concentration variait en regard de cette électrode et de la grille commune, le Ph variait, l'indicateur coloré changeait de teintes. En utilisant du bleu de bromo-thymol, de jaune par exemple, qu'il était, il apparaissait vert, puis bleu suivant l'intensité du courant qui traversait localement le bain. Quand on inversait le courant, le colorant reprenait sa teinte primitive dès que la quantité d'électricité écoulée en sens inverse était équivalente.

(1) Dans le brevet d'addition n° 35.890, en date du 9-7-36.

(2) Voir en particulier l'ouvrage de M. DÉRIBÉRÉ sur les *Applications industrielles du Ph.*

L'élément électro-optique ainsi réalisé pourrait être d'un aspect très agréable, et étant donné la variété des teintes des indicateurs colorés il pourrait se prêter *à la reproduction des couleurs*. Malheureusement son fonctionnement n'est pas très rapide et nécessite déjà des densités de courant notables, pour opérer en 1/20e de seconde. Mais surtout, on rencontre une très grosse difficulté ; c'est que les indicateurs colorés usuels, qui sont très sensibles, sont des corps organiques, très peu stables et médiocrement reversibles : au bout de quelques centaines d'inversions, ils perdent de leur sensibilité et finissent par se détruire ; tandis que les colorants minéraux, qui sont mieux reversibles, sont par contre beaucoup moins sensibles. En outre, la nécessité de placer un grillage constituant électrode, au sein du liquide et sur la face avant, réduit encore la transparence. Les bulles formées sont gênantes également et le liquide tend à disparaître, de sorte que finalement la méthode n'est pas pratique sans de nouvelles études.

J'ai aussi proposé une autre méthode, basée sur un tout autre principe, qui permettrait d'améliorer beaucoup l'utilisation de la surface disponible et qui est d'un fonctionnement indéfini (1). Elle consiste à faire circuler dans la surface de l'élément un liquide qui se renouvelle continuellement, et à opérer au préalable *un mélange de plusieurs liquides*, diversement colorés. Par exemple, l'un des liquides est incolore et s'écoule continuellement, laissant ainsi apparaître le fond qui est blanc. L'autre liquide est noir. Il est émis en quantité variable sous l'action d'une petite soupape. Les déplacements extrêmement petits de cette soupape placée à l'arrière sont commandés électrostatiquement et ils suffisent pour assurer à distance la modulation. Tant que la soupape est fermée, le liquide incolore s'écoule seul, et le fond blanc est visible. Suivant que la soupape est plus ou moins ouverte, la densité de liquide noir varie et la teinte est progressivement contrôlée jusqu'au noir absolu. De préférence, le liquide circulera en circuit fermé et on utilisera un colorant colloïdal que l'on séparera ensuite des solvants par dialyse (par un filtre). La consommation du liquide pourra être ainsi réduite à une fraction négligeable due aux pertes. Cette méthode du mélange de liquide pourrait se prêter à la reproduction des couleurs par mélange de plusieurs teintes au lieu de deux... mais il s'agit là seulement de vues de l'esprit et il faut sans doute donner la préférence à d'autres méthodes plus simples.

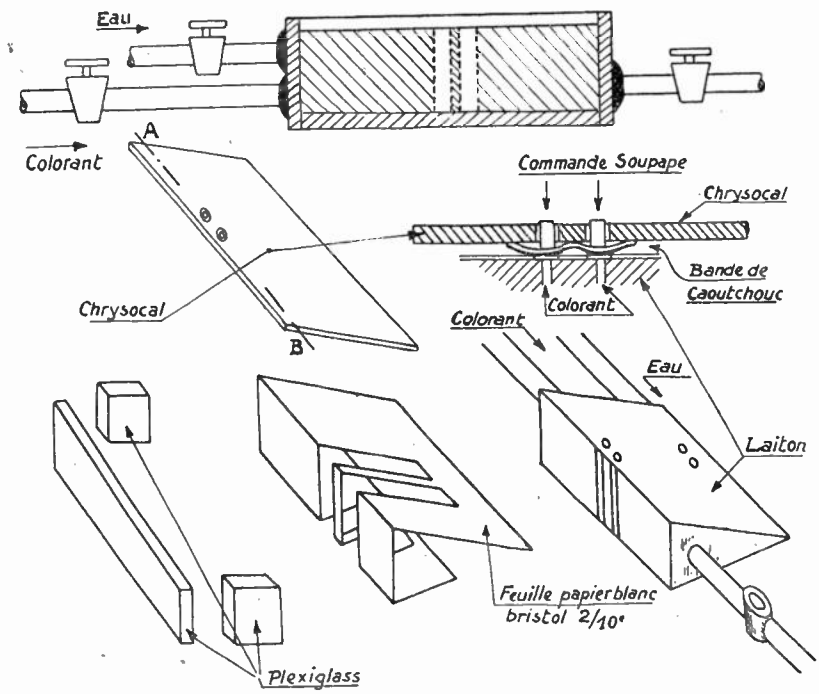


FIG. 9. — Mélange de liquides diversement colorés.

Disons encore, pour terminer, que d'autres méthodes pourraient être aussi employées. Par exemple le contrôle d'un dégagement gazeux coloré, la condensation de vapeur d'eau sur une surface que l'on précipite électrostatiquement, ou encore le dichroïsme d'une matière disposée entre polariseurs, etc... Mais aucune de ces méthodes ne semble aussi pratique que celle basée sur l'orientation électrostatique de particules polarisantes en suspension colloïdale que nous allons décrire maintenant et que nous avons finalement adoptée.

VII. Eléments basés sur les colloïdes orientables électrostatiquement.

En 1887, Herapath signalait les remarquables propriétés que possèdent certains sels de quinine de polariser la lumière. En particulier il donnait

(1) Voir addition n° 39.811, en date du 17-2-42.

la composition et le mode de préparation de solutions colloïdales de « sulfate d'iodoquinine ». L'action électrostatique exercée sur ces solutions colloïdales est également connue depuis longtemps. On a proposé, il y a plus de vingt ans, de réaliser des « soupapes de lumière » en utilisant des liquides incolores contenant en suspension de très petites particules de matière polarisant la lumière. Ces liquides, normalement opaques, deviennent partiellement transparents sous l'action d'un champ électrostatique convenablement appliqué.

Le phénomène est facile à expliquer. En temps normal, le mouvement brownien, dû à l'agitation thermique naturelle, a pour conséquence d'orienter ces particules très petites dans toutes les directions possibles. Etant donné que chacune de ces particules polarise la lumière, les plans de polarisation tombent n'importe comment les uns par rapport aux autres, et toutes les vibrations de la lumière sont arrêtées : le liquide paraît opaque. Mais si l'on dispose à l'intérieur du liquide deux électrodes parallèles (par exemple perpendiculaires à la surface que l'on regarde) et si l'on établit entre elles une différence de potentiel assez élevée, c'est-à-dire que l'on produit un champ électrostatique assez intense (de l'ordre de 400 volts par millimètre), on provoque l'orientation individuelle de toutes ces particules : elles s'alignent, comme les soldats d'un régiment « au garde à vous ». Les plans de polarisation deviennent parallèles les uns aux autres, la polarisation produite par les premières est sans effet sur les suivantes. Pour la lumière convenablement polarisée, elles apparaissent transparentes ; le liquide colloïdal laisse passer presque complètement l'une des deux composantes de la lumière polarisée : ainsi de noir qu'il était, en l'absence de champ, le liquide devient à moitié transparent quand on applique la tension sur les électrodes.

Autrefois, on ne connaissait que le sulfate d'iodoquinine qui possédait cette curieuse propriété. Ce liquide colloïdal était toutefois très instable et les cristaux en formation de dimensions assez irrégulières et continuellement variables. Récemment on a découvert d'autres particules ayant les mêmes propriétés. Notamment, les travaux de Werner (1) ont montré que certaines cobaltoamines les possèdent au plus haut point. Récemment, M. Land aux Etats-Unis, et M. Servigné (2) en France, ont réussi à améliorer beaucoup la fabrication de ces corps et à augmenter leur stabilité. On sait fabriquer aujourd'hui des solutions colloïdales de ces particules dans de l'acétate d'amyle qui restent stables pendant de nombreux mois et permettent d'envisager d'intéressantes applications.

La « soupape de lumière » qui opère par transparence oblige à placer la source lumineuse derrière l'écran, et cela n'est pas pratique : ce n'est pas l'écran diffusant dont nous avons besoin.

J'ai proposé *d'associer ces soupapes à une surface blanche* diffusant la lumière : En opérant sur une couche de liquide d'épaisseur très faible, en contact avec une surface peinte en blanc, on réalise un élément électro-optique qui est noir en temps normal, mais peut devenir gris foncé, gris clair ou même presque blanc comme le blanc d'une tapisserie, en appliquant un champ électrique suffisamment intense. Avec ce système, l'écran que l'on regarde et l'élément électro-optique sont confondus : c'est la lumière ambiante de la pièce qui sert à éclairer, la soupape de lumière fonctionne deux fois : une fois à l'aller, une fois au retour. Le fond blanc apparaît plus ou moins complètement, suivant la tension électrostatique appliquée. Et une très faible épaisseur de liquide colloïdal (0 mm.5 environ) suffit à rendre « noir » le fond complètement blanc, lorsqu'aucune tension n'est appliquée.

Une particularité intéressante de ce procédé réside dans le fait que le liquide peut être divisé en parties aussi réduites qu'on le désire. On peut donc construire, sur ce principe, des éléments aussi petits qu'on le veut. On n'est donc plus limité, comme dans le cas des appareils dynamiques, par les dimensions des pièces mobiles à réaliser.

Ce procédé est donc d'un très grand intérêt puisqu'il permet d'obtenir des images très fines : Toutefois il n'est pas sans inconvénients.

L'acétate d'amyle doit être *rigoureusement anhydre;* c'est là une condition absolument essentielle et c'est la principale difficulté du dispositif. En effet, la moindre trace d'eau, en faisant apparaître des phénomènes d'électrolyse, augmente le courant consommé dans des proportions énormes (de l'ordre du microampère, il le fait passer à 1 milliampère et même plus) et si la source d'alimentation le permet, on peut même observer un échauffement notable. En outre, comme l'élément doit être étanche (pour que l'acétate ne s'évapore pas), l'hydrogène et l'oxygène provenant de l'électrolyse pourraient le faire éclater (3) si l'on ne prenait soin d'opérer en courant alternatif.

Une autre méthode, qui pourrait paraître à première vue très attirante, car elle fait appel non plus à des liquides, mais à des corps *solides,* consisterait à provoquer la migration des centres colorés dans les *cristaux* des sels halogénés (des métaux alcalins). Si l'on soumet certains corps, normalement transparents, notamment des cristaux halogènes, contenant un excès de métal, à un rayonnement ultra-violet (ou à un faisceau cathodique), on fait apparaître des centres colorés. Les centres colorés sont susceptibles de se déplacer sous l'action d'un champ électrique appliqué entre les deux faces du cristal. Ce

(1) Voir notamment la revue *Zeitschrift für Praktische Chemie,* série 2, volume 14, p. 230.

(2) En collaboration avec le Laboratoire de l'Institut Agronomique de France et avec la Société d'Optique et de Précision de Levallois.

(3) *Zeitschrift für Praktische Chemie.* Jorgensen.

curieux phénomène a été décrit par Pohl (1). On pourrait utiliser ce phénomène de la façon suivante. On collerait une feuille blanche derrière le cristal transparent, on disposerait les cristaux en quinconce de telle façon que la moitié seulement de la hauteur du cristal soit visible. Les centres colorés seraient normalement cachés dans la partie invisible. Sous l'action du champ électrique, on provoquerait la migration des centres et on les étendrait à toute la surface. La feuille blanche paraîtrait alors colorée et l'élément électro-optique, de transparent qu'il était, pourrait devenir progressivement jaune ou bleu? Malheureusement, le système ne semble pas pratique car, même avec le chlorure de lithium (le plus avantageux), il faut opérer à une température élevée, voisine de 400° C_0'. Toutefois, il ne paraît pas impossible qu'on puisse trouver dans l'avenir, des composés chimiques d'une formule plus complexe, permettant d'opérer dès la température ordinaire.

VIII. **Montage proposé pour l'élément électro-optique colloïdal.**

Sur le principe que nous venons d'énoncer, j'ai cherché à établir un élément simple, robuste et facile à construire en série. En raison de la nouveauté du système, nous croyons utile d'entrer dans des détails assez nombreux, ce dont nous nous excusons.

Pour réaliser le champ électrostatique intense à l'intérieur du liquide colloïdal, nous avons fait appel à des électrodes disposées perpendiculairement à la surface de l'élément comme le représente en principe la figure 10, à l'aide de bandes de carton presspann P, dont la tranche B est peinte en blanc. Ces bandes forment des cales d'épaisseur entre les électrodes. On maintient l'électrode centrale C (à laquelle on appliquera la modulation) à égale distance de deux électrodes D reliées au sol. Les électrodes débordent la face avant dressée du prespann, et une feuille de cellophane E recouvre les cinq pièces ainsi assemblées. Ces pièces sont collées à la gélatine de façon à former deux petites cuves verticales indépendantes v_1 et v_2 de chaque côté de l'électrode centrale. On introduit le liquide colloïdal dans ces cuves, de préférence au moyen d'une petite aiguille pour piqûre hypodermique (0 mm,5 de diamètre), et on les scelle très soigneusement pour éviter l'évaporation de l'acétate d'amyle.

En appliquant une tension à l'électrode centrale, on réalise dans chacune des petites cuves des champs égaux et de signe contraire : le liquide contenu dans les deux cuves devient partiellement transparent, et d'autant plus transparent que la tension est plus élevée, la réponse de l'élément est extrêmement rapide.

(1) Voir notamment *Proc. Phys. Soc.*, août 1937 : La Conductivité électrique et le processus photochimique dans les cristaux des halogémines alcalins. Voir aussi *Naturvissenschafen*, 1933.

Pour réaliser une ligne d'éléments électro-optiques, on divise l'électrode centrale en plusieurs tronçons, d'égale largeur, et disposés à la suite les uns des autres. Ces tronçons conducteurs sont montés sur la feuille isolante commune. On les réalise au moyen de dépôts conducteurs effectués sur la feuille de petites électrodes, soit par métallisation (procédé Schoop), obtenue

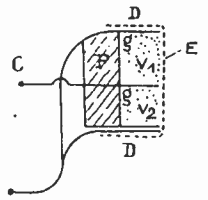


FIG. 10.

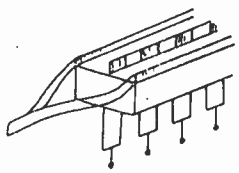


FIG. 11.

FIG. 10. — La tension de modulation est appliquée à l'électrode centrale.

FIG. 11. — Les tensions de modulation sont appliquées à plusieurs électrodes disposées à la suite les unes des autres.

par projection à travers des caches encrysocal, soit encore par des dépôts conducteurs à l'aquadag parallèle les uns aux autres, comme le représente la figure 14. Les feuilles supportant les électrodes dépassent d'une très faible quantité la face avant des cartons, et constituent ainsi de minuscules « gorges » ou rigoles, l'ensemble feuilles et carton étant collés l'un au-dessous de l'autre.

Pour assurer l'orientation des cristaux colloïdaux dans chaque partie désirée du bac, c'est-à-dire pour « éclaircir » la teinte de l'élément, il suffit d'appliquer une tension de quelques centaines de volts à l'électrode centrale correspondante : c'est la tension de « modulation » de l'élément.

Si le phénomène peut être observé aussi avec du courant continu, on ne doit pas faire appel, dans la pratique, à une distribution de courant de sens constant, car la solution colloïdale *précipite* en quelques minutes; et le dispositif est rendu rapidement inutilisable. Pour obtenir une bonne stabilité du liquide, il est indispensable de se servir d'une distribution de courant alternatif à fréquence assez élevée, par exemple 1.000 périodes par seconde. Au courant de fuite, résultant

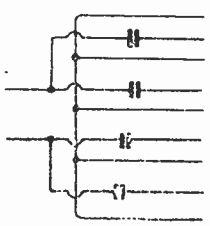


FIG. 12.

du défaut d'isolement (qui n'est que de plusieurs micro-ampères par élément en courant continu), s'ajoute alors le courant dû à la capacité entre électrodes. On rend cette capacité aussi faible que possible. Cependant pour actionner un élé-

ment électro-optique ayant par exemple 7 mm de côté, il faut environ 6 micro-ampères sous 500 volts à la fréquence de 1.000 périodes par seconde.

La production d'un semblable courant est délicate. C'est pourquoi la solution électrométrique à feuille d'aluminium rebattu, a seule été utilisée jusqu'ici.

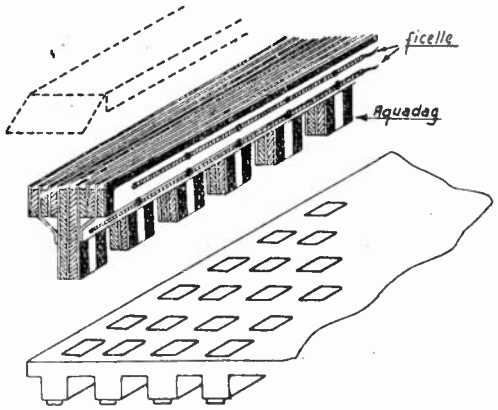


FIG. 13. — Ensemble de l'élément électro-optique.

IX. **Jonction à travers une capacité.**

On s'affranchit des inconvénients de la composante « continue » du courant (qui risquerait de provoquer des bulles au sein du liquide, et la floculation du colloïde) en ajoutant, en série avec chaque électrode, une petite capacité. D'autre part, pour réaliser un élément qui soit aussi haut que large, on est amené dans la pratique à doubler le nombre des bandes verticales utilisées, de telle sorte que chaque élément fait appel à quatre petites cuves disposées en parallèle comme l'indique la fig. 13.

Enfin, pour des raisons de solidité, on assemble deux rangées d'éléments parallèles les unes aux autres. Cela permet de réaliser, à la partie arrière des fiches de connexion beaucoup plus robustes. Chaque fiche comporte une double connexion sur chaque face.

Le schéma général des connexions d'une section d'un élément électro-optique est ainsi représentée sur la fig. 12.

La fig. 13 représente en perspective l'aspect général d'un petit bloc. On voit aussi fig. 13, les trous de la dalle dans laquelle les queues viennent se monter.

La fig. 14 et la fig. 15 représentent le détail des

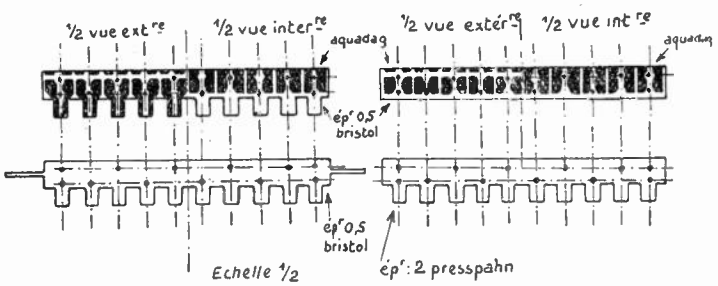


FIG. 14. — Electrode impaire.

pièces servant à sa constitution et la disposition des électrodes.

Vingt-cinq blocs analogues à ceux que représente la fig. 13 sont assemblés côte à côte et forment une « dalle ».

CONCLUSION

S'il était réalisé, un semblable écran serait d'un emploi très pratique : il fonctionnerait indifféremment à la lumière artificielle, à la lumière du jour ou même en plein soleil. Il n'aurait qu'une épaisseur très faible, il pourrait être très grand, sans cependant être encombrant, puisqu'il pourrait être appliqué au mur. Il pourrait être employé non seulement pour la « télévision », mais

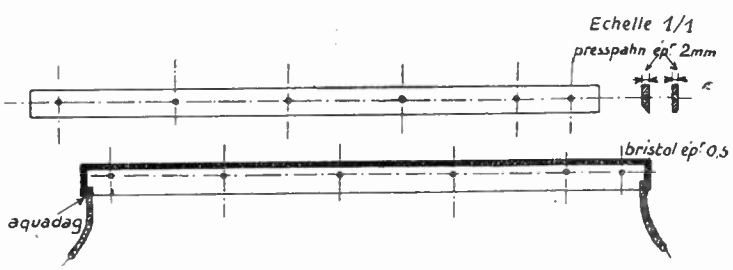


FIG. 15. — Electrode paire.

aussi pour d'autres applications tels que relayage lumineux, le cinéma, écran de rayons X, etc...

L'écran ayant été décrit, il reste maintenant à l'alimenter.

Nous verrons dans un prochain article les moyens inattendus (triode à effluve) qui permettent d'assurer son alimentation par une méthode entièrement statique.

P. TOULON.

PROCEDE DE MESURES DES CARACTERISTIQUES DE MODULATION D'UN GÉNÉRATEUR A HAUTE FRÉQUENCE

PAR

E. FROMY,

Docteur ès Sciences

SOMMAIRE

Les méthodes usuelles de mesure du taux de modulation et du taux de distorsion d'enveloppe d'une onde modulée, utilisant une détection linéaire, deviennent inapplicables pour analyser des tensions de faible valeur, telles que celles qui existent à la sortie des générateurs étalonnés.

L'auteur décrit une méthode de zéro, étudiée au Laboratoire National de Radioélectricité, dans laquelle les mesures sont faites directement sur des tensions HF et BF avant détection et qui permet de mesurer le taux de modulations résiduelles, le taux de modulation et le taux de distorsion d'enveloppe.

INTRODUCTION

Les mesures du taux de modulation et, plus encore, du taux de distorsion d'enveloppe d'un oscillateur à haute fréquence modulé à basse fréquence constituent des problèmes délicats et qui jusqu'ici n'ont pas encore reçu de solutions bien satisfaisantes.

Dans le cas d'oscillateurs puissants, par exemple pour des postes émetteurs, on peut effectuer ces mesures en passant par l'intermédiaire d'un détecteur pratiquement linéaire et en analysant le courant détecté.

Dans le cas d'une onde à modulation sensiblement sinusoïdale, on peut également évaluer le taux de modulation à l'oscillographe cathodique, soit sur un oscillogramme ordinaire, soit par la méthode du trapèze.

Dans le cas d'un oscillateur à faible puissance, tel qu'un générateur étalonné du type utilisé pour les essais des récepteurs, ces deux méthodes sont très incertaines et inutilisables pour des mesures précises.

Les tensions disponibles à la sortie des appareils à étudier étant au maximum de l'ordre de 1 volt, le fonctionnement des détecteurs connus et utilisables pour ce genre de mesures ne peut plus être considéré comme linéaire; les mesures faites sur le courant détecté sont alors systématiquement entachées d'une erreur difficile à évaluer et qui peut être considérable, surtout en ce qui concerne la détermination du taux de distorsion d'enveloppe. L'emploi d'un amplificateur pour amener la tension à analyser dans la gamme de détection linéaire déplace la difficulté sans résoudre le problème. L'oscillographe cathodique, de sensibilité insuffisante, ne peut être utilisé qu'en le faisant précéder d'un préamplificateur dont les distorsions rendent assez aléatoires les mesures du taux de modulation; il est d'ailleurs incapable de permettre une évaluation du taux de distorsion d'enveloppe.

En résumé, dans l'état actuel de la technique, on était pratiquement désarmé pour la détermination des caractéristiques exactes du signal de sortie d'un générateur étalonné usuel; en particulier, on n'avait aucun moyen sérieux pour évaluer le taux de distorsion d'enveloppe de la modulation.

Cette situation rendait pratiquement impossibles toutes les mesures de distorsion globale sur un récepteur.

La présente note a pour but de décrire un dispositif étudié au Laboratoire National de Radioélectricité (1) spécialement conçu pour combler cette lacune et permettre une analyse correcte du signal de sortie d'un générateur étalonné usuel, comportant une prise de sortie sur 1 volt environ.

PRINCIPE DE LA METHODE

Imaginons que l'on veuille analyser les caractéristiques de modulation d'une onde modulée de la forme :

$$(1) \qquad u = U\,(1 + T \sin mt) \cos(\omega t + \varphi)$$

Appliquons cette tension sur les plaques de déviation verticale d'un oscillographe cathodique dont la base de temps est synchronisée sur la modulation de u; nous obtenons l'oscillogramme classique représenté en A sur la figure 1 et délimité par deux courbes enveloppes d'équations :

$$y_1 = U\,(1 + T \sin mt)$$
$$y_2 = -U\,(1 + T \sin mt)$$

(1) Note préliminaire n° 62 du Laboratoire National de Radioélectricité. Août 1944.

Cela étant, ajoutons en série avec la tension HF représentée par l'expression (1) une tension *à basse fréquence*, synchrone de la tension de modulation et *en phase* avec la modulation de la tension u, donc de la forme :

$$v = V \sin mt$$

représentée par la courbe B sur la fig. 1.

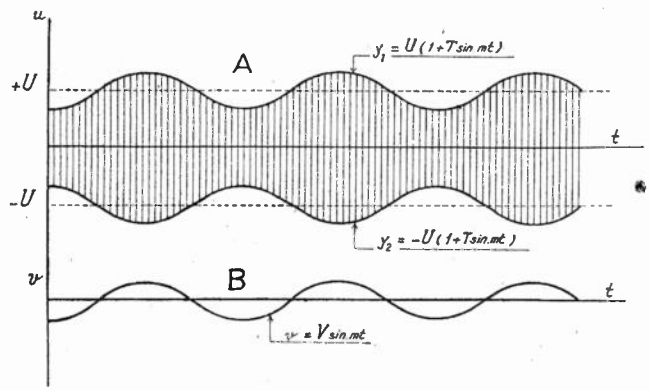


FIG. 1.

L'oscillogramme est déformé et ses bords sont représentés par les relations :

$$y'_1 = y_1 + v = U + (V + UT) \sin mt$$
$$y'_2 = y_2 + v = -U + (V - UT) \sin mt$$

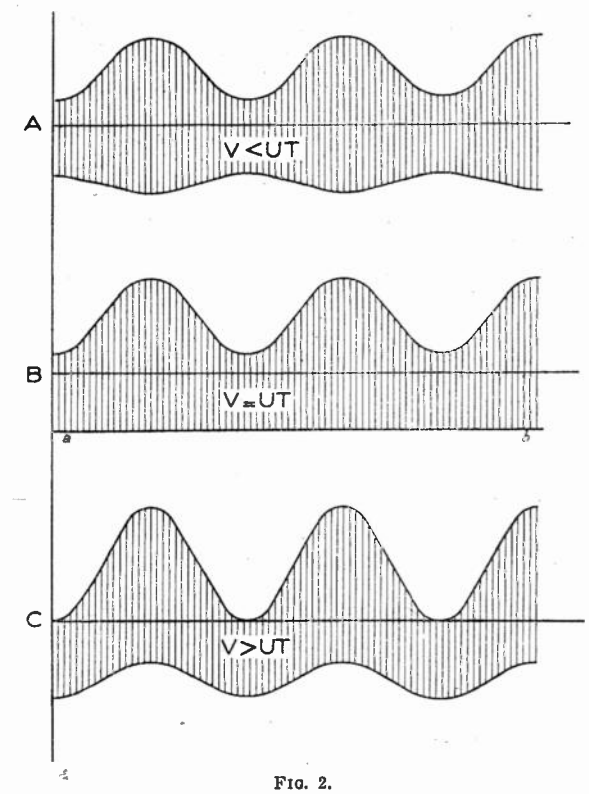


FIG. 2.

Il prend alors respectivement les formes représentées en A, B et C sur la figure 2 suivant les valeurs relatives de l'amplitude V de la tension BF et de l'amplitude UT de la modulation de la tension HF.

Dans le cas B, correspondant à la relation bien définie :

$$V = UT$$

la figure prend un aspect particulier caractérisé par l'apparition d'un bord rectiligne, le bord inférieur avec la relation de phase admise sur la figure.

Si la tension v et la modulation de la tension u sont toutes deux rigoureusement sinusoïdales, on obtient comme bord inférieur une droite parfaite, sans aucune sinuosité.

Si, au contraire, la tension v restant sinusoïdale, l'enveloppe de la tension u comporte de la distorsion et est représentée par une expression de la forme :

$$y'_2 = -U\,[1 + T_1 \sin(mt + \varphi) + T_2 \sin(2mt + \varphi_2) + \ldots + T_n \sin(nmt + \varphi_n)]$$

la compensation ne s'établit que sur le terme fondamental qui disparaît complètement lorsqu'on satisfait l'égalité :

$$V = UT_1$$

Le bord inférieur ne comporte plus que les termes harmoniques de la modulation et devient :

$$Y''_2 = -U[1 + T_2 \sin(2mt + \varphi) + \ldots + T_n \sin(nmt + \varphi_n)]$$

L'oscillogramme prend alors l'aspect de la figure 3.

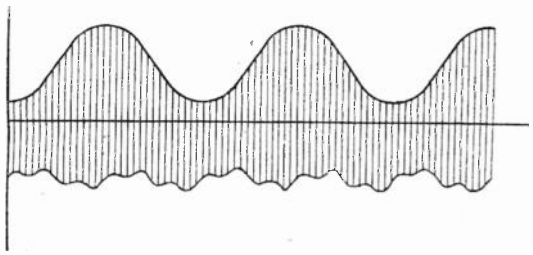


FIG. 3.

Dès lors, si on mesure à l'aide d'un voltmètre *la tension porteuse* U de l'onde modulée et la tension auxiliaire V, on peut mesurer facilement le taux de modulation *relatif au terme fondamental*

$$T_1 = \frac{V}{U}$$

et évaluer qualitativement par observation du bord inférieur de l'oscillogramme l'importance de la distorsion harmonique de modulation.

MODE D'UTILISATION PRATIQUE

Sous cette forme schématique, le dispositif n'apporte pas encore la solution du problème pour l'analyse d'un oscillateur à faible tension car l'emploi d'un oscillographe cathodique exige l'utilisation d'un préamplificateur qui peut amener des distorsions et dont l'amplification peut

être différente pour la tension à haute fréquence u et pour la tension à basse fréquence v.

De plus, il ne permet pas de chiffrer la distorsion d'enveloppe.

Pour tourner la difficulté, on peut revenir à la

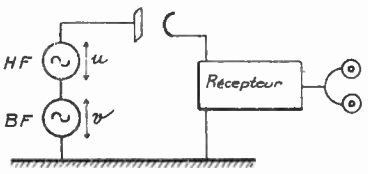


FIG. 4.

solution usuelle du détecteur monté schématiquement comme l'indique la figure 4. A l'entrée on fait agir en série la tension à analyser u et la tension de référence v, fournie par un circuit dérivé de la source qui module l'oscillateur HF et réglable en amplitude et en phase. *On choisit la polarité de la tension de compensation de telle sorte que la polarité des alternances de tension relatives au bord redressé* (*ab* sur la figure 2 B) *corresponde au sens de passage à travers le détecteur.*

Dès lors, pour une onde à modulation sinusoïdale et *dans les limites où le coude de la caractéristique de détection est assez accentué* pour que le détecteur se comporte pratiquement comme une coupure du circuit pour les alternances de signe contraire, tout se passe comme si l'on recevait une onde non modulée dès l'instant où l'on réalise la condition

$$V = UT$$

Si l'on mesure V et U à l'aide d'un voltmètre, on en déduit le taux de modulation T.

Ce résultat, déduit de mesures effectuées *sans intermédiaire* sur les tensions U et V, *est rigoureux quelles que soient les caractéristiques du détecteur* dont le seul rôle est de déceler l'extinction de la modulation.

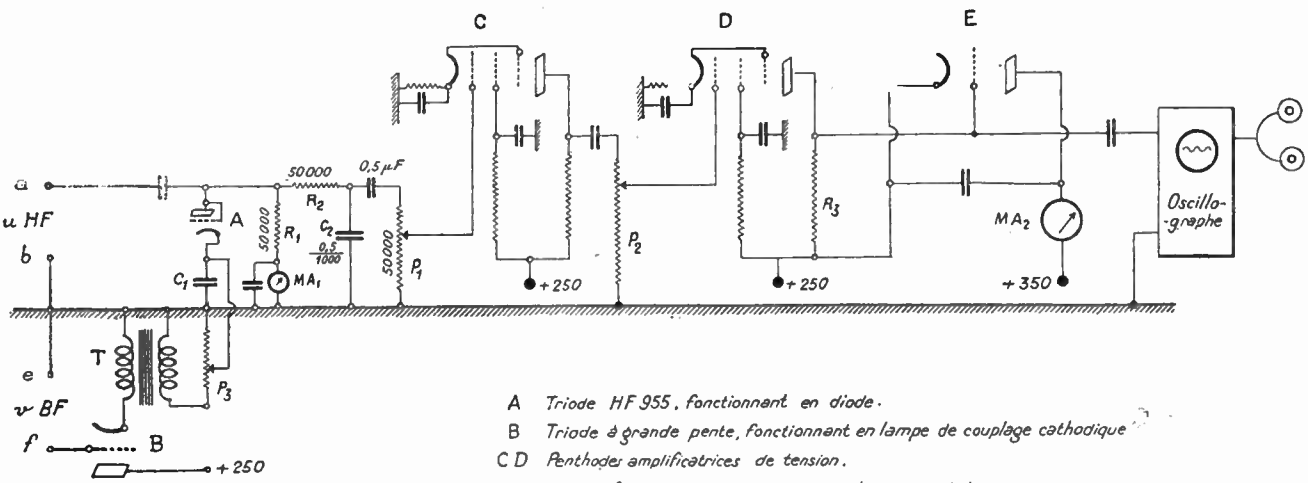
Dans le cas d'une onde à modulation non sinusoïdale, le réglage de la tension v permet d'éteindre le terme fondamental du courant détecté, comme dans le réglage d'un pont d'impédances ; tout se passe alors comme si l'on avait une onde dont la modulation se réduirait aux modulations résiduelles de l'appaerli (bruits de secteur) et aux harmoniques de modulation.

En s'en tenant aux termes de premier ordre, on peut admettre que pour ces modulations de faible profondeur le détecteur est pratiquement linéaire ; dès lors, il devient possible de mesurer les modulations résiduelles et le taux de distorsion d'enveloppe en mesurant, ou en repérant en valeurs relatives, les composantes correspondantes du courant détecté. L'exemple de réalisation décrit ci-après précisera les détails de la mesure.

PRINCIPE DE LA REALISATION

Pour mettre facilement en œuvre les principes qui précèdent on peut utiliser un montage du type représenté sur la figure 5. La tension à haute fréquence à analyser u attaque un circuit détecteur comportant la diode A, constituée par un microtube 955, une résistance de charge R_1 et un indicateur de porteuse MA_1.

Le courant détecté est filtré en haute fréquence par les éléments R_2 C_2 et sa composante alternative est reportée sur la grille d'entrée de la première lampe C de l'amplificateur par l'intermédiaire d'un potentiomètre d'affaiblissement éta-



A Triode HF 955, fonctionnant en diode.
B Triode à grande pente, fonctionnant en lampe de couplage cathodique
C D Penthodes amplificatrices de tension.
E Triode fonctionnant en détectrice plaque parabolique
R_2 C_2 Filtre éliminateur HF.
MA_1 Mesure de la porteuse.
P_1 Potentiomètre de mesure du taux de distorsion, étalonné en décibels et en %.
P_2 Potentiomètre de réglage de sensibilité de l'amplificateur.
MA_2 Voltmètre de sortie quadratique.
P_3 Potentiomètre de mesure du taux de modulation, étalonné en %.
T Transformateur de découplage en courant continu

FIG. 5.

lonné P_1, *gradué en % et en décibels en dessous du niveau maximum.*

L'amplificateur comporte deux étages C et D à résistances, reliés par un potentiomètre P_2 qui permet de régler sa sensibilité. Le niveau de sortie, entre les bornes d'une résistance de charge R_3, est mesuré par le milliampèremètre MA_2 attaqué par la triode E fonctionnant en détectrice par la plaque à caractéristique parabolique. L'appareil de mesure comporte une graduation arbitraire et sert à repérer la *valeur efficace* du signal de sortie.

Un oscillographe cathodique et un casque téléphonique sont connectés à la sortie de l'amplificateur pour permettre l'analyse visuelle et auditive des modulations résiduelles.

En série avec la diode A se trouve placée la source de compensation à basse fréquence constituée par la résistance de charge d'une lampe B à couplage cathodique, découplée en courant continu par le transformateur T ; une capacité C_1 shunte le circuit pour les courants à haute fréquence.

Sur la grille de la lampe B on fait agir un circuit alimenté par la source de modulation du générateur en essai et comportant un filtre éliminateur d'harmoniques, un organe de réglage de la phase et un organe de réglage du niveau.

Un curseur P_3, se déplaçant sur la résistance de charge de la lampe B et gradué en %, permet d'affaiblir la tension mise en circuit dans un *rapport étalonné* à partir de sa valeur maxima.

Les modes de réglage et d'utilisation de l'appareil sont alors les suivants :

1° Réglages préliminaires.

a) On applique entre les bornes « a b » la tension modulée *u* à analyser et on repère sur le milliampèremètre MA_1, fonctionnant en voltmètre HF, la valeur de sa porteuse U ;

b) On coupe la tension u, on place le curseur P_3 au maximum de tension et on applique sur la grille de la lampe B la tension de référence BF. Enfin, on règle l'amplitude de cette tension de façon à ramener l'aiguille de MA_1 sur sa valeur repérée au paragraphe précédent.

On a alors :

$$V = U.$$

2° Mesure des modulations résiduelles.

a) On coupe la tension BF en « e f » et on applique en « a b » la tension HF à étudier *non modulée* (circuit de modulation coupé) ;

b) On pousse au maximum le curseur P_1 et on règle la position du curseur P_2 de façon à amener l'aiguille de MA_2 sur une position repérée θ de son cadran sous l'action des courants dus à la détection des modulations résiduelles de l'onde étudiée. Celle-ci étant alors de la forme :

$$u = U(1 + y)\cos(\omega t + \varphi)$$

où y est une fonction périodique quelconque qui caractérise les modulations résiduelles (ronflements, modulations parasites, etc.) et la détection par la diode A pouvant être regardée comme linéaire dans la zone correspondant à la modulation résiduelle, en général très faible, la déviation θ du milliampèremètre MA_2 est de la forme :

$$\theta = k\,U^2\,Y^2_{eff}$$

c) On module l'onde HF avec un taux T connu ou mesuré comme il est dit ci-après et, en agissant sur le potentiomètre P_1, on réduit le signal à l'entrée dans un rapport α, *lu sur le cadran d'étalonnage de* P_1, tel que l'aiguille du milliampèremètre MA_2 revienne sur son repère θ.

On a alors :

$$\theta = \frac{k\,T^2\,U^2}{2}\,\alpha^2.$$

d) En comparant les résultats des deux mesures, on en déduit :

$$Y_{eff} = \frac{T}{\sqrt{2}}\,\alpha$$

relation qui, pour une même porteuse U, exprime le taux de modulation résiduelle en fonction du taux T étalonné. On l'évalue en principe en décibels en dessous de T par la relation :

$$r = 20\,\log_{10}\frac{T}{Y_{eff}\sqrt{2}} = 20\,\log_{10}\left(\frac{1}{\alpha}\right)$$

3° Mesure du taux de modulation.

a) Dans les mêmes conditions d'essais que ci-dessus, on fait agir en outre la source BF.

On règle la phase de cette tension et la position du curseur P_3 de façon à éteindre le terme fondamental du courant détecté contrôlé au casque et à l'oscillographe comme pour l'équilibre d'un pont d'impédances ;

b) Lorsque l'extinction est réalisée, on lit sur le potentiomètre P_3 l'affaiblissement A correspondant à la position du curseur. On a alors, en vertu des réglages préliminaires du paragraphe 1° :

$$TU = AV = AU$$

donc :

$$T = A$$

autrement dit, la mesure du taux de modulation s'effectue par *lecture directe sur le potentiomètre* P_3.

4° Mesure du taux de distorsion d'enveloppe.

Lorsqu'on a éteint le terme fondamental de la modulation musicale il reste une modulation résiduelle contenant les harmoniques de la modulation principale et les ronflements de secteur ou autres modulations parasites. La tension HF appliquée en « a b » est alors de la forme :

$$u = U(1 + z + y)\cos(\omega t + \varphi)$$

ou y représente comme au paragraphe 2° les

modulations parasites et z est une fonction périodique contenant tous les harmoniques de la modulation.

Pour effectuer la mesure on opère comme au paragraphe 2°, soit :

a) Sans modifier les réglages des sources HF et BF, on place le curseur P_1 au maximum et on règle la position du curseur P_2 de façon à amener l'aiguille de MA_2 sur une position repérée θ de son cadran.

En admettant comme ci-dessus que la détection des modulations résiduelles est pratiquement linéaire, la déviation θ est de la forme :

$$\theta = kU^2 (Z^2_{eff} + Y^2_{eff}).$$

b) On coupe la source BF de façon à rétablir la modulation principale de taux T mesuré au paragraphe 3° et, en agissant sur le potentiomètre P_1, on réduit le signal à l'entrée dans un rapport β, lu sur le cadran d'étalonnage de P_1, tel que l'aiguille de MA_2 revienne sur son repère θ.

On a alors :

$$\theta = K \frac{T^2 U^2}{2} \beta^2.$$

c) En comparant les résultats des deux mesures, on en déduit :

$$Z^2_{eff} + Y^2_{eff} = \frac{T^2}{2} \beta^2$$

soit :

$$\left(\frac{Z_{eff}\sqrt{2}}{T}\right)^2 = \beta^2 - \left(\frac{Y_{eff}\sqrt{2}}{T}\right)^2$$

Dans cette expression :

1° Le rapport $\frac{Z_{eff}\sqrt{2}}{T}$ représente le rapport des valeurs efficaces des harmoniques de modulation au terme fondamental, c'est-à-dire le *taux de distorsion d'enveloppe K* ;

2° Le rapport $\frac{Y_{eff}\sqrt{2}}{T}$ représente le taux de modulation résiduelle mesuré au paragraphe 2°.

On a donc finalement :

$$K = \sqrt{\beta^2 - \alpha^2}$$

Dans le cas où le taux de modulation résiduelle est négligeable, on a pratiquement :

$$K \cong \beta$$

autrement dit, le taux de distorsion d'enveloppe est lu directement sur le cadran d'étalonnage de l'affaiblisseur P_1.

CONCLUSION

Le dispositif qui vient d'être décrit permet donc de mesurer toutes les caractéristiques utiles de la modulation en éliminant les causes d'erreurs qui rendent ce genre de mesures très délicat par les méthodes classiques.

E. FROMY.

RELATIONS ENTRE LES OSCILLATIONS LIBRES ET FORCEES D'UN SOLIDE CONDUCTEUR ET APPLICATION A LA THÉORIE DE L'ANTENNE FICTIVE

PAR

P. NICOLAS,

Ingénieur-Conseil à l'Industrielle des Téléphones de la Compagnie Générale d'Electricité

SOMMAIRE

Le procédé qui consiste à substituer à une antenne, dans les essais de laboratoire, un circuit oscillant à constantes massées d'impédance équivalente, est employé depuis très longtemps. Il est généralement considéré comme légitime au voisinage de la résonance fondamentale.

On démontre que ce procédé repose sur une base théorique sérieuse et qu'il est même théoriquement possible de construire des réseaux équivalents à toutes fréquences, non seulement à une antenne simple, mais à des circuits à constantes réparties d'un type beaucoup plus général. La démonstration est basée sur les propriétés des équations intégrales.

Enfin, dans le cas fréquent, où l'équation intégrale du problème est telle que l'on ne peut déterminer explicitement ses fonctions normales, on donne un aperçu d'autres méthodes au moyen desquelles on peut déterminer une expression approchée de l'impédance.

Introduction.

Depuis quarante ans environ, de nombreux travaux ont été publiés sur le calcul du mode de vibration électrique des solides conducteurs, et plus particulièrement des antennes utilisées en radiotechnique. Il est intéressant de remarquer que ce sont les travaux les plus anciens qui reposent sur les bases mathématiques et physiques les plus solides, parce qu'ils partent uniquement des équations de Maxwell. Dans les plus récents, faits plus directement en vue des applications, et qui traitent surtout des conducteurs filiformes, l'importante question de la distribution réelle des courants à la surface du conducteur est souvent laissée de côté, ou résolue à l'aide d'hypothèses heureusement fortement étayées par l'expérience.

L'étude du fonctionnement d'un corps solide, que nous supposerons toujours, pour simplifier, parfaitement conducteur, dans un champ électrique alternatif imposé, comprend plusieurs parties :

La première, théoriquement la plus difficile, est la détermination de la distribution des courants à la surface du conducteur ;

La seconde est relative à l'énergie, active et réactive, rayonnée par la distribution de courant ainsi déterminée ;

La troisième concerne les valeurs correspondantes du champ à distance.

Lorsque la distribution des courants à la surface du conducteur est connue, on peut théoriquement calculer, au moyen des potentiels retardés, les champs électriques et magnétiques dans tout l'espace, et en particulier à la surface du conducteur. L'énergie mise en jeu est ensuite évaluée par le flux du vecteur de Poynting à travers la surface même du conducteur, suivant la méthode proposée initialement par M. Léon Brillouin.

Si l'on suppose que le champ extérieur imposé, au lieu d'être distribué sur toute la surface du conducteur, est généralement nul, sauf au voisinage d'une ligne déterminée, tracée sur la surface (autrement dit d'une sorte de *coupure*), on arrive à la notion de *force électromotrice imposée*, appliquée dans une région déterminée du conducteur. La force électromotrice imposée peut être considérée comme une distribution de champ très intense dans une région très peu étendue.

A cette distribution très particulière, correspond un courant global traversant la région très étroite considérée, et le produit de ce courant par la force électromotrice imposée (qui est égale à l'intégrale du champ électrique tangentiel et perpendiculaire à la ligne de coupure, multiplié par l'élément de longueur perpendiculaire à cette ligne, lorsqu'on traverse la coupure) représente la puissance mise en jeu. Le rapport de la force électromotrice au courant n'est pas autre chose que l'impédance du solide conducteur, vis-à-vis d'une force électromotrice appliquée de la manière précisée. La valeur de cette impédance dépend naturellement, au plus haut degré, de la région d'application choisie pour la force électromotrice.

Pour un mode donné d'insertion de la force électromotrice, l'impédance est une fonction de

la fréquence. Pour les applications, il est souhaitable que la forme mathématique de cette impédance soit la plus simple possible.

Dans la pratique radioélectrique s'est introduit depuis très longtemps l'usage de représenter l'impédance de l'antenne par celle de l'*antenne fictive* composée d'un circuit résonant série, comprenant une self-inductance, une capacité et une résistance. Cette représentation se montre valable au voisinage de la fréquence propre la plus basse de l'antenne. Nous montrerons qu'elle peut être généralisée, et que, dans des cas très étendus, l'impédance d'une antenne peut être représentée rigoureusement, à toutes fréquences, par celle d'un réseau formé d'une infinité de mailles analogues à celles constituant l'antenne fictive simple dont nous venons de parler, connectées en parallèle et sans couplage entre elles.

Enfin, tandis que dans les représentations mathématiques de l'impédance d'une antenne basées sur des distributions de courant données *a priori*, la notion d'oscillation libre disparaît complètement, nous arriverons, au contraire, au moyen de la représentation précédente, à mettre en évidence des relations mathématiques tout à fait simples entre les oscillations libres et les oscillations forcées.

Il est à signaler que la technique mathématique utilisée pour la mise en équation du problème des vibrations d'un corps solide conducteur est exactement la même que celle applicable aux résonateurs creux. La seule différence est celle qui, dans la théorie du potentiel sépare le problème de Dirichlet *extérieur* du même problème *intérieur*.

I. Equations générales des vibrations d'un solide conducteur dans un champ imposé.

Le champ électrique tangentiel à la surface d'un conducteur parfait est nécessairement nul. La distribution de courant à la surface du conducteur sera donc telle que cette condition soit remplie, et il n'existe pas d'autre condition physique imposée dans le problème. C'est ainsi que plusieurs sytèmes de sources qui, en l'absence du conducteur considéré donneraient, le long de sa surface géométrique, dont l'intérieur serait supposé remplacé par un volume égal du milieu extérieur, des champs électriques tangentiels identiques, donneront, lorsqu'on introduira le conducteur, des distributions de courant identiques à la surface de celui-ci. Le champ à distance sera, bien entendu, généralement différent, parce que le champ propre des sources sera lui-même différent.

Mathématiquement, nous devons exprimer que le champ *électrique tangentiel* causé par les courants distribués à la surface du conducteur doit avoir un valeur égale en grandeur et de sens opposé à celle du champ électrique tangentiel extérieur imposé.

Si les composantes du champ électrique dans un système de coordonnées quelconques obéissaient individuellement à une équation aux dérivées partielles simple et depuis longtemps étudiée, comme l'équation de propagation des ondes, on serait immédiatement ramené à trouver une solution à cette équation aux dérivées partielles ayant des valeurs données sur une surface donnée. Mais on sait que ce n'est que dans le système cartésien de coordonnées que les diverses composantes des champs électrique et magnétique obéissent séparément à l'équation de propagation. Dans les autres systèmes de coordonnées, on ne peut séparer les composantes de façon à n'en faire figurer qu'une dans une équation aux dérivées partielles. Or, la surface d'un conducteur de forme quelconque n'admet généralement pas une description simple en coordonnées cartésiennes. Pour cette raison, nous chercherons de préférence à donner au problème la forme d'un système d'équations intégrales, parce que le caractère des solutions se met plus facilement en évidence dans un tel système.

Etant donné un solide parfaitement conducteur de forme quelconque, choisissons un système de coordonnées curvilignes orthogonales tel que la surface du conducteur soit elle-même l'une des surfaces coordonnées. Désignant par (u_1, u_2, u_3) les coordonnées d'un point quelconque de l'espace dans ce système, la surface du conducteur correspondra à une valeur fixe de u_3 pour laquelle u_1 et u_2 restant variables, l'ensemble de toutes les valeurs possibles de u_1 et u_2 couvrira toute la surface du conducteur. Pour montrer qu'il est toujours facile de construire un tel système de coordonnées, il suffira de supposer que le conducteur, isolé dans l'espace, reçoit une charge statique. Son potentiel est alors uniforme, les différentes surfaces à potentiel constant étant les surfaces coordonnées pour lesquelles $u_3 =$ constante. Pour u_1 et u_2, il suffira de tracer sur la surface conductrice un quadrillage rectangulaire quelconque, les points des autres surfaces correspondant aux mêmes valeurs de u_1 et u_2 étant reliés entre eux par une même ligne de force électrostatique.

Cela posé, le champ électrique extérieur imposé aura, en chaque point de la surface conductrice Σ deux composantes tangentielles, l'une suivant la direction (u_1 variable), que nous désignerons pas F_1 (u_1, u_2), l'autre suivant la direction (u_2 variable), que nous désignerons par F_2 (u_1, u_2).

Imaginons maintenant une distribution de courant quelconque sur la surface (Σ). En chaque point de (Σ) elle sera caractérisée par deux densités linéaires de courant (i_1, i_2) — i_1 sera la densité de courant au point (u'_1 u'_2) prise suivant la direction (u'_1 variable) et par unité de longueur de la ligne coordonnée (u'_2 variable) les relations correspondantes pour i_2 s'obtenant en échangeant u'_1 et u'_2. En un point quelconque (u_1 u_2 u_3) de l'espace, le champ électrique dû à l'élément de courant de longeur (h_1 du'_1) et d'intensité (i_2 du'_2) sera caractérisé par ses

trois composantes suivant les trois directions coordonnées. On aura ainsi, pour le champ résultant des éléments de courant considérés :

$$(1^a) \quad dE_1(u_1u_2u_3) = H_{11}(u_1u_2u_3, u'_1u'_2u'_3)\, i_1(u'_1u'_2u'_3)\, h_1h_2\, du'_1\, du'_2 + H_{12}(u_1u_2u_3, u'_1u'_2u'_3)\, i_2(u'_1u'_2u'_3)\, h_1h_2\, du'_1\, du'_2$$

$$(1^b) \quad dE_2(u_1u_2u_3) = H_{21}h_1h_2i_1\, du'_1\, du'_2 + H_{22}h_1h_2\, du'_1\, du'_2$$

$$(1^c) \quad dE_3(u_1u_2u_3) = H_{31}h_1h_2i_1\, du'_1\, du'_2 + H_{32}h_1h_2i_2\, du'_1\, du'_2$$

Dans les équations (1^a 1^b 1^c) les quantités (h) sont évidemment les coefficients intervenant dans l'expression du carré de l'élément de longueur dans le système de coordonnées adopté :

$$ds^2 = h_1\, du_1^2 + h_2^2\, du_2^2 + h_3^2\, du_3^2$$

tandis que les (H) sont des fonctions de deux points calculables au moyen de la théorie des potentiels retardés, fonctions évidemment symétriques quand on permute l'ensemble des valeurs (u_1 u_2 u_3) avec celui des valeurs (u'_1 u'_2 u'_3). Les quantités (h) et (i) sont, par contre, des fonctions de (u'_1 u'_2 u'_3) seulement. Rappelons que le long de (Σ) la valeur de u'_3 est constante.

Le champ électrique total, dû aux courants distribués sur (Σ), sera donc, en un point de l'espace (u_1 u_2 u_3), donné par :

$$(2^a) \quad E_1(u_1u_2u_3) = \int_\Sigma \{H_{11}i_1 + H_{12}i_2\}\, d\sigma$$

$$(2^b) \quad E_2(u_1u_2u_3) = \int_\Sigma \{H_{21}i_1 + H_{22}i_2\}\, d\sigma$$

$$(2^c) \quad E_3(u_1u_2u_3) = \int_\Sigma \{H_{31}i_1 + H_{32}i_2\}\, d\sigma$$

En effet, la quantité (h_1 h_2 du'_1 du'_2) n'est pas autre chose que l'élément de surface $d\sigma$.

Si nous considérons maintenant uniquement le champ tangentiel à la surface (Σ), u_3 et u'_3, qui ont la même valeur constante le long de Σ, disparaissent en tant que variables, et nous n'avons plus à considérer E_3, qui est normal à la surface.

Imposons-nous maintenant le long de (Σ) le champ tangentiel dû aux sources extérieures, et caractérisé par ses composantes F_1 (u_1 u_2), F_2 (u_1 u_2). La condition physique que le champ tangentiel total doit être nul conduit aux deux équations :

$$(3^a) \quad \int_\Sigma \{H_{11}i_1 + H_{12}i_2\}\, d\sigma = -F_2(u_1, u_2)$$

$$(3^b) \quad \int_\Sigma \{H_{21}i_1 + H_{22}i_2\}\, d\sigma = -F_1(u_1, u_2)$$

La théorie des équations intégrales montre que ces deux équations, où F_1 et F_2 sont des fonctions données de u_1 et u_2, où i_1 et i_2 sont des fonctions inconnues de u'_1 et u'_2, et où H_{11}, H_{12}, H_{21}, H_{22} sont des fonctions données du couple de points (u_1 u_2 u'_1 u'_2), fonctions qui sont symétriques, c'est-à-dire qui gardent la même valeur lorsqu'on échange les deux points, déterminent complètement i_1 et i_2, qui définissent la distribution de courant cherchée, correspondant au champ imposé (F_1, F_2). Il est à peine besoin de dire que les quantités H sont aussi des fonctions de la fréquence.

La discussion complète du système (3^a, 3^b) présente quelque difficulté et dépasserait d'ailleurs largement le cadre de ce travail. Aussi allons-nous maintenant nous limiter aux cas, où, par suite des conditions géométriques du problème, le système (3) se trouve réduit à une seule équation intégrale.

Il y a deux cas où la possibilité d'une telle simplification est évidente. Ce sont :

Celui du conducteur filiforme, c'est-à-dire de forme très allongée, plane ou gauche, mais dans lequel l'une des dimensions, que nous appellerons la dimension transversale, est négligeable par rapport à l'autre ;

Celui du cas où le conducteur affecte la forme d'un solide de révolution, le champ appliqué présentant lui-même une symétrie de révolution autour de l'axe géométrique.

II. Cas de l'équation intégrale unique.

Considérons d'abord un conducteur de forme très allongée. Nous pourrons toujours tracer sur sa surface un système de coordonnées rectangulaires tel que les lignes « u_1 variable » par exemple, soient orientées d'une manière générale dans le sens de la plus grande dimension et le parcourent d'un bout à l'autre, tandis que les lignes « u_2 variable » qui coupent les autres à angle droit, seront des courbes fermées dont le périmètre sera relativement petit. Si, de plus, nous ne considérons que des courants et des champs de fréquences telles que la longueur d'onde dans le milieu extérieur soit grande devant le périmètre de ces courbes fermées, il est clair que le champ créé à distance (par exemple en un point du conducteur éloigné de la courbe fermée considérée) par un courant orienté selon une de ces courbes, sera fort petit, et nous pourrons le négliger. Nous ne tiendrons donc compte, dans nos calculs, que des courants orientés suivant les lignes coordonnées « u_1 variable », et nous caractériserons l'état du conducteur, pour un valeur donnée de u_1, par le courant total i qui traverse la ligne fermée « u_1 constante » considérée. Nous appellerons cette ligne la section du conducteur correspondant à la valeur donnée de u_1.

Le long d'une autre section, correspondant à la valeur u'_1 de u, le champ électrique tangentiel développé parallèlement aux lignes « u_1 variable » par l'action à distance du courant global traversant la section u_1, ou, plus exactement, par l'élément de courant d'intensité i et de longueur $ds = h_1\, du_1$, dépendra peu de u_2, puisque les dimensions transversales sont faibles. Nous considérerons donc le champ pour la valeur u'_1 de la variable u_1 comme caractérisé par sa valeur

moyenne pour les diverses valeurs de u_2 correspondant aux divers points de la section u'_1. Cette définition, valable pour le champ créé par les courants à la surface du conducteur, nous l'étendrons également au champ extérieur imposé.

Cela posé, changeons un peu de notation. Supposons que $h_1 = 1$, c'est-à-dire que l'on a pris comme coordonnée, le long des lignes « u_1 variable », la longueur géométrique de l'arc d'une de ces lignes, compté à partir d'une origine quelconque, et désignant par S ce que nous appellions précédemment u_1 et par x ce qui nous appellions précédemment u'_1. Le « champ induit », c'est-à-dire le champ tangentiel parallèle à la direction « x variable » au point d'abscisse x et causé par les courants distribués à la surface du conducteur, sera donné par une formule telle que :

$$(4) \qquad E(x) = \int_a^b H(x, s)\, i(s)\, ds$$

où H (x, s) est une fonction symétrique des coordonnées de deux points, calculable au moyen de la théorie des potentiels retardés, et dépendant donc de la fréquence. Dans la formule précédente, a et b sont deux limites des valeurs de s correspondant aux deux extrémités du conducteur.

Il y a lieu de remarquer que, pour une valeur fixée de x, l'intégration suivant s est étendue à toutes les valeurs possibles de s, et en particulier aux valeurs voisines de x. Les distances intervenant dans le calcul du potentiel retardé sont à ce moment fort petites, même comparées au développement des lignes « u_2 variable » (c'est-à-dire x = constante) constituant les deux sections voisines. On supposera une distribution de courant uniforme tout autour de la section, et on calculera H (x, s) de cette façon, et le résultat obtenu dépendra, bien entendu, de la grandeur de la section du conducteur au voisinage de x. On voit donc que H (x, s) tient finalement compte de la section du conducteur au voisinage du point d'abscisse x et que les approximations que nous nous avons faites n'équivalent pas au remplacement du conducteur réel par un conducteur infiniment fin. On peut comparer le raisonnement précédent à celui que l'on fait quand on veut calculer le champ magnétique d'une spire circulaire, dans lequel on peut remplacer la spire par un courant linéaire passant par les centres des sections du fil lorsqu'il s'agit de calculer le champ à distance, mais non quand on veut évaluer la self-inductance de la spire.

Appelons maintenant F (x) le champ électrique tangentiel extérieur imposé, il faut évidemment :

$$E(x) = -F(x)$$

Donc :

$$(5) \qquad \int_a^b H(x, s)\, i(s)\, ds = -F(x)$$

La détermination de la distribution du courant le long du conducteur est donc ramenée à celle de $i(s)$ dans l'équation (5) qui est une équation intégrale linéaire homogène de type classique.

Nous avons donc établi que le problème se ramène à la résolution d'une équation intégrale unique, dans le cas d'un conducteur de forme très allongée. Nous allons voir qu'on peut en faire autant dans le cas où le conducteur est un solide de révolution, quelles que soient les grandeurs relatives de sa longueur et de sa section.

Considérons, en effet, un tel solide, et choisissons comme précédemment des coordonnées curvilignes orthogonales $(u_1\ u_2\ u_3)$ telles que la surface du conducteur soit caractérisée par une valeur constante de u_3. Mais cette fois, la variation de u_1 nous fera décrire un méridien, et celle de u_2 un parallèle, en sorte que l'on aura :

$$ds^2 = h_1^2\, du_1^2 + \rho^2\, d\varphi^2 + h_3^2\, du_3^2$$

La quantité h est simplement égale à la distance ρ du point considéré à l'axe de révolution, et la variable u_2 n'est autre que l'azimuth φ.

Si le champ extérieur appliqué est de révolution, il est évident qu'il n'a pas d'autre composante tangentielle que celle parallèle à « u_1 variable », c'est-à-dire aux méridiens, et que la distribution de courant causée par ce champ est également orientée suivant les méridiens. De plus, la valeur de la composante tangentielle du champ induit pour un valeur donnée de u_1 est indépendante de φ.

Reprenant les mêmes notations que précédemment, nous prendrons comme coordonnées, le long de la surface du conducteur, l'axe de méridien x compté à partir d'un parallèle quelconque, arbitrairement choisi. La surface sera entièrement décrite lorsqu'on fera varier l'abscisse x entre deux valeurs limites a et b et l'angle φ entre 0 et 2π. Le champ tangentiel E (x) le long de la section d'abscisse x est indépendant de φ, et l'élément de ce champ dû à l'action du courant total $i(s)$ traversant la section d'abscisse s est donné par :

$$dE = H(x, s)\, i(s)\, ds$$

où H (x, s) est toujours une fonction symétrique de x et de s.

Nous retombons donc sur une équation intégrale unique, exactement identique à (5).

(A suivre.)